REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie mécanique

Thème

Utilisation d'une méthode récente pour le contrôle de la qualité du sable de moulage de l'unité de fonderie de Berrouaghia

---

Présenté par :

Mr : Nechachda Dhifallah

Mr : Seghir Aissa Mahmoud

Proposé et Dirigé par :

Dr : Hebireche Mohamed

Promotion : 2021/2022

Remerciement

Nous saisissons cette opportunité pour adresser nos profondes gratitudes et nos sincéres priéres à notre dieu, le tous puissant .

Nous n'omettrons pas d'exprimer nos vifs remerciment à tous ceux qui ont contribués de pris ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, avec une attetion particuliére à notre promoteur mr hebireche mohamed, qui n'a jamais cessé de prodiguer conseils, orientation et encouragements.

Nous n'oublierons pas l'unité fonderie poval de bérrouaghia sur tout madame Benchoucha,Et nos professeurs qui nous ont suivis tout au long de notre parcours universitaire au sein du département de génie mécanique.

Merci à tous pour votre soutien, votre aide, et votre compréhension.

DHIFFALAH-MAHMOUD

Résumé

La qualité du sable pour moulage sable est l'un des sources primordiales pour la fabrication des bonnes pièces de fonderie. A cet effet un contrôle efficace et rapide effectué sur le sable en atelier est l'aptitude au serrage (AS), il permet pour une composition donnée du sable, de relie une caractéristique mécanique du sable (AS) à son taux d'humidité en utilisant un abaque développé récemment (ressources aptitude au serrage). Celui-ci consiste à prélever un échantillon représentatif du sable contenu dans le malaxeur et à le soumettre à l'action d'un damoir. Des essais effectués sur la nouvelle machine de moulage (objet 6/2) de l'unité fonderie de Berrouaghia, ont révélés que les meilleurs résultats sont obtenus pour un taux d'humidité de 3.9% en corrélation avec l'Aptitude au Serrage où le sable envoyé dans la machine doit être comprise entre 32 et 40 (ces valeurs indicatives sont susceptibles d'être ajustées en fonction de la complexité des plaques modèles).

Summary

The quality of sand for casting Sandi's one of the essential sources for the manufacture of good castings. a set effect an effective and rapid control carried out on the sand in the workshop is the ability to tighten (AS), it allows for a given composition of the sand, to link a mechanical characteristic of the sand (AS) to its humidity rate in using a recently developed chart (resources tightness). This consists of taking are presentative sample of the sand contained in the mixer and subjecting it to the action of a damoir. Tests carried out on the new molding machine (object 6/2) of the foundry unit of Berrouaghia, revealed that the best results are obtained for a humidity rate of 3.9% in correlation with the Suitability for Tightening where the sand sent to the machine must be between 32 and 40 (these indicative values are subject to adjustment depending on the complexity of the model plates).

ملخص

تعد جودة الرمال المستخدمة في صب الرمل من المصادر الأساسية لتصنيع المصبوبات الجيدة. تأثير مجموعة التحكم الفعال والسريع الذي يتم إجراؤه على الرمال في ورشة العمل هو القدرة على إحكام الربط (AS)، فهو يسمح بتركيبة معينة من الرمال ، لربط خاصية ميكانيكية للرمل (AS) بمعدل رطوبتها في استخدام مخطط تم تطويره مؤخرًا (ضيق الموارد). يتكون هذا من أخذ عينة تمثيلية من الرمل الموجود في الخلاط وإخضاعها لعمل دامور. أظهرت الاختبارات التي تم إجراؤها على آلة التشكيل الجديدة (الكائن 2/6) لوحدة السبك في Berrouaghia، أنه تم الحصول على أفضل النتائج لمحتوى رطوبة بنسبة 3.9٪ فيما يتعلق بالقدرة على الشد حيث يجب أن يتم إرسال الرمال إلى الماكينة. بين 32 و 40(هذه القيم الإرشادية قابلة للتعديل حسب درجة تعقيد لوحات النموذج).

Sommaire

Introduction ……. ……..……...….01

Chapitre I: Recherche Bibliographique

I. Présentation de l'entreprise POVAL BERROUGHIA…….....……...…..02
I.1 Historique et mission de l'entreprise…….....……...…….02
I.2 Objectifs de l'entreprise…….....……..02
I.3 Organigramme de l'entreprise……..…….....……02
I.3.1 Organigramme général de POVAL……..…….....……02
I.3.2 Organigramme générale de l'unité de fonderie…….....……03
I.4 Présentation des unités de l'entreprise POVAL BERROUGHIA….....….....…...03
I.5 Généralité sur la fonderie…….…..…....……..04
I.5.1 Possibilités de la fonderie……...…….04
I.6 Processus de fabrication…….....…….06
I.7 Type de sables de moulage……..……..15
I.7.1 Origine des sables……...…….……..…….15
I.7.2 Sable à vert de moulage……...……15
I.7.2.1 Les propriétés du sable utilize…….....……15
I.7.2.2 Composition du sable à vert……...……..17
I.7.3 Sable furanique…….....……..23
I.7.4 Sable en CO_2…….....25
I.7.5 Machines de moulage……...……...…….26
I.7.6 Contrôle et Laboratoire……...……..…….30

Chapitre II : Méthodes et Matériels

II.1. Contrôle de matières premières…….…31

II.1.1. Analyse du sable neuf……..……...31

II.1.1.1. Détermination de la densité de sable neuf……..…….……..31

II.1.1.1.1. Détermination de la densité apparente de sable neuf……..…….……31

II.1.1.1.2. Détermination de la densité en vrac……...……..31

II.1.1.2. Déterminer de la teneur en eau d'un sable neuf……..……...…….31

II.1.1.3. Détermination de la perte de feu……..…….....32

II.1.1.4. Détermination de la teneur en particules inférieures à 20µm……..……34

II.1.1.4.1. Décantations et siphonages…….…….……...…….34

II.1.1.5. Détermination de la répartition granulométrique de sable neuf…….....……..36

II.1.1.5.1. Détermination de la fraction basique……...……37

II.1.1.5.2. Détermination de la catégorie……..……38

II.1.1.5.3. Détermination du groupe de sable neuf……..……..38

II.1.1.5.4. Détermination de la structure granulaire……..…….....38

II.1.1.5.5. Détermination de l'indice de finesse (AFS)……..…...39

II.1.1.5.6. Calcul de diamètre moyen des grains et le degré d'uniformité…….……...39

II.1.1.6. Détermination de la morphologie des grains……..…….40

II.2. Contrôle de sable de moulage ……..……42

II.2.1. Déterminer l'humidité……..……42

II.2.2. Détermination du taux de la bentonite…….……42

II.2.3. Détermination de la matière en suspension de sable de moulage…….…43

II.2.4. Détermination de la Perte au feu…….…...44

II.2.5. Détermination des caractéristiques mécaniques……45

II.2.5.1. Confection d'une éprouvette en sable silico-argileux…….....45

II.2.6. Détermination de la perméabilité d'un sable silico-argileux…….49

II.2.7. Détermination de la résistance à la compression d'un sable silico-argileux……..52

II.2.8. Détermination de la résistance au cisaillement d'un sable silico-argileux……...….54

II.2.9. Détermination de la compressibilité d'un sable silico-argileux…….....….56

II.9.2.1 Mesure De L'aptitude Au Serrage du Sable De Fonderie…….....….58

II.9.2.2 Appareil pour contrôler l'aptitude au serrage…….…..……59

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Interprétation des résultats de contrôle de matières premières……..…….……61
III.1.1 Analyse granulométrique de sable……..……...61
III.1.1.1 Détermination De La Fraction Basique……...……...61

III.1.1.2 Détermination De La catégorie. ……..……62

III.1.1.3 Détermination du groupe de sable……...…….……..62

III.1.1.4 Détermination de la structure granulaire……..……..62

III.1.1.5 Détermination de l'indice de finesse (AFS)……63

III.1.1.6 Détermination du diamètre moyen du grain du sable. …….……...……64

III.1.1.7 Degré d'uniformité……...…..…….65

III.1.1.8 Détermination de la morphologie des grains…….....……..…….65

III.1.2 Contrôle de bentonite (origine Maghnia) ……...…….……..67
III.1.2.1 Détermination du teneur en eau (Humidité) …….....……..……..67
III.1.2.2 Détermination de perte au feu…….....……68
III.1.2.3 Détermination de l'aptitude au gonflement d'une bentonite…….....…….69
III.1.2.4 Détermination de la réparation granulométrique (tamisage) de la bentonite…….....70
III.1.3 Contrôle de noir minéral …….……..…71

III.1.3.1 Déterminer de teneur en eau ……..……...71
III.1.3.2 Déterminer le teneur en cendres……...…….....……71
III.1.3.3 Déterminer le teneur en matière volatiles……...……...…….……...72
III.1.4 Essai de l'aptitude au serrage (A. S.)……...……..……72
Conclusion ……..…….……77

Liste des Tableaux		
Tableaux	Titre	Page
01	Classification des procédés de moulage	13
02	Propriétés de Moulage.	17
03	Transformation de la silice en différents forme selon la température.	18
04	la Norme de noir minéral	20
05	La norme de bentonite	22
06	Les groupes de sable.	38
07	Caractéristiques des éprouvettes	47
08	Analyse granulométrique du sable de chlef (traité).	61
09	Les groupes de sable	62

Liste des Figures		
Figure	Titre	Page
01	Organigramme général.	02
02	Organigramme de l'unité fonderie.	03
03	Schéma de principe d'une sablerie.	06
04	Schéma synoptique des systèmes de manutention et de stockage d'une sablerie.	07
05	Fabrication d'un élément de tuyauterie par moulage main.	11
06	Châssis pour moulage main.	11
07	Variation de la dureté des moules en fonction de la pression de serrage	12
08	Réseau de la montmorillonite.	22
09	structure de la bentonite.	23
10	Secoueurs à moule.	26
11	Machine à retourner et à démouler	26
12	Machine à projection de sable (Piper).	27
13	La chaine de refroidissement	29
14	Une machine à mouler du type DFM-AD	29
15	Machine de fermeture.	29
16	Machine de couler.	29
17	décocheuse.	29
18	Appareil de Chauffage (sécheur).	31
19	Creuset céramique.	33
20	Siphonage.	35
21	Siphonage) Séparation des éléments inférieurs à 0.02 mm et des éléments supérieurs à 0.02 mm par décantation.	36
22	Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude	40
23	forme des grains (sable de la fonderie de la berroughia).	41
24	Détermination du taux de la Bentonite	43
25	Schéma de Fouloir.	48
26	Schéma d'une perméamétrie.	51
27	Machine universelle de résistance à la compression.	53
28	Machine universelle de résistance au cisaillement.	55
29	Machine et éprouvette de compressibilité.	57
30	Histogramme du sable jaune.	63
31	Courbe d'analyse granulométrique.	64
32	Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude.	66
33	forme des grains (sable de la fonderie de la Berroughia).	67
34	Four de traitement.	69
35	Principe de l'essai	73
36	Ressources aptitude au serrage	75

Introduction

Introduction

En moulage en sable silico-argileux, les fondeurs utilisent de nombreux outils qualité pour comprendre et maîtriser les effets des paramètres qui génèrent des défauts sur les pièces fabriquées (abreuvage, porosité, …). Mais en cas de dérive du processus de fabrication, on se rend bien souvent compte que le plus difficile c'est d'identifier les paramètres les plus influents pour définir un plan d'action efficace. Il faut assurer la stabilité du processus de fabrication des moules en sable en prenant en compte les 5M (Moyens, Main d'œuvre, Méthodes, Milieu, Matières utilisées).

La fabrication de pièces métalliques brute de coulée à haute qualité, notamment de surface, nécessite une maîtrise de la qualité du sable de moulage, de façon à garantir des propriétés stables de ce dernier "sable à vert ». Par conséquent, la caractérisation du sable de moulage joue un rôle essentiel pour une compréhension approfondie de diverses propriétés qui contrôlent le degré de qualité, et donc, les performances de tenue en service de sable de moulage. Dans notre étude on a mis en avant la "qualité" de sable de moulage grâce à la méthode de caractérisation (Aptitude de serrage), par l'utilisation d'un abaque développé récemment. Cet abaque montre une corrélation entre les le taux d'humidité et propriété d'aptitude de serrage de sable de moulage. Toutefois, il faut au préalable s'assurer que l'ensemble des caractéristiques et propriétés des composants de sable de moulage est t imposées car l'éventuelle présence d'anomalies provoque un risque de défauts sur pièces. En effet, à partir d'une nouvelle machine de moulage de l'unité fonderie de Berrouaghia (objet 6/2), on a effectué des prélèvements afin de réaliser des essais d'aptitude de serrage.

Des conditions optimales (l'aptitude au serrage et taux d'humidité) afin d'obtenir la qualité dus able désirée, ont été établies.

Chapitre I :

Recherche Bibliographique

I. Présentation de l'entreprise POVAL BERROUGHIA

I.1 Historique et mission de l'entreprise :

L'entreprise POVAL SPA est une société public économique, elle a été créé en date du 23 juillet 1997 suite à la transformation juridique de l'ex-entreprise de production de matériel hydraulique (EN-PMH)

Ses missions principales sont la recherche, le développement et la commercialisation des produits pompes, vannes, industrielle matériel de voirie, accessoires de tuyauterie et matériel anti incendier. POVAL dispose aussi d'autres activités : fabrication mécanique, pièces brutes de fonderie.

La société POVAL BERROUGHIA est composée par quatre unités de production sont : l'unité de Maintenance, l'unité fonderie, l'unité pompes et vannes.

I.2 Objectifs de l'entreprise :

L'entreprise POVAL SPA contient plusieurs actions ont été engagées :

- Amélioration des relations avec les clients et les acheteurs.
- Introduction d'un réseau informatique.

I.3 Organigramme de l'entreprise :

I.3.1 Organigramme général de POVAL :

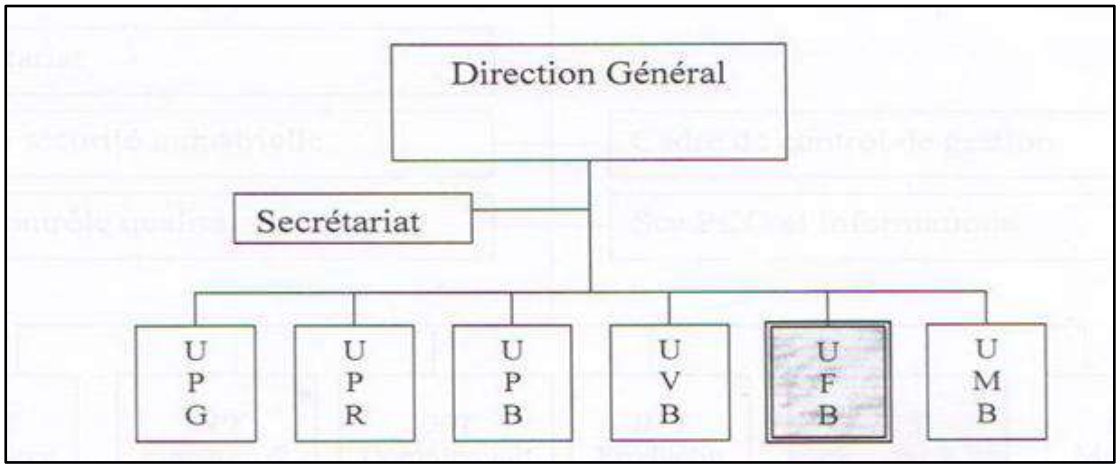


Figure 1: Organigramme général.

I.3.2 Organigramme générale de l'unité de fonderie :

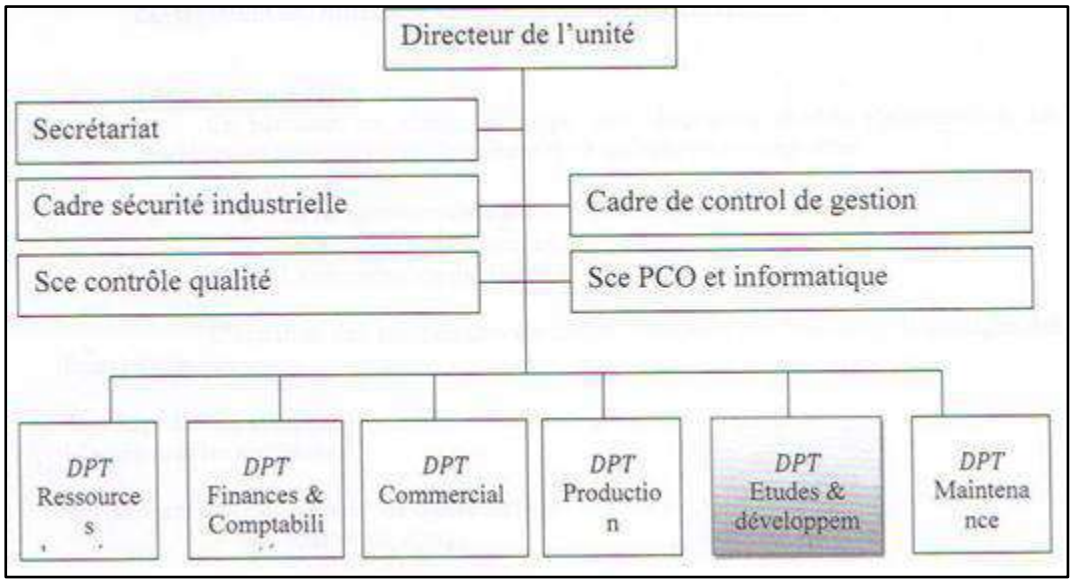


Figure 2 : Organigramme de l'unité fonderie.

I.4 Présentation des unités de l'entreprise POVAL BERROUAGHIA

a) Unité de maintenance et rénovation :

Met à votre disposition toute une gamme de prestations spécifiquement, adaptées à vos exigences telles que :

- Rénovation de machines-outils et équipements de fonderie ;
- Fabrication de diverses pièces de rechange ;
- Traitement thermique (cémentation) ;
- Fabrication d'armoires métalliques ;
- Bancs d'essai hydrauliques, bancs d'essais électriques, bancs d'essais mécaniques.

b) Unité vannes de BERROUAGHIA :

Est spécialisée dans la fabrication des vannes de sectionnement matériel de protection des réseaux, anti-incendie, irrigation, accessoires réseau et raccords de canalisation. Notre gamme touche les secteurs d'activité suivants : L'hydraulique, l'assainissement, l'industrie, l'agriculture.

c) Unité pompes de BERROUGHIA :

Est spécialisée dans la fabrication de pompes centrifuge depuis 1980, elle dispose d'une large gamme touchant tous les secteurs d'activité dont : l'hydraulique, l'agriculture, le bâtiment, l'assainissement, l'industrie.

La gamme de production de l'unité de pompes BERROUGHIA(UPG) est constitué : pompes immergées pour forage, pompes d'assainissement, pompes monocellulaires et multicellulaire, pour AEP.

I.5 Généralité sur la fonderie :

Une fonderie peut apparaître comme une technique de fabrication très simple, universellement connue, utilisée depuis des millénaires et qui consiste à « fondre un alliage et le couler dans un moule reproduisant la forme de la pièce à obtenir ». Le processus industriel se révèle beaucoup plus complexe ; il s'agit en effet de fabriquer des pièces répondant à des critères bien définis, avec des cahiers des charges rigoureux, dans une gamme étendue d'alliages différents à qui l'on demande des performances de plus en plus élevées et fiables, dans des gammes de masses allant de quelques grammes à plusieurs dizaines ou centaines de tonnes, avec des précisions dimensionnelles toujours plus serrées, des états de surface les meilleurs possibles, des formes complexes pour intégrer le maximum de fonctions et avec des cadences de production allant de la pièce unitaire à plusieurs milliers de pièces par jour dans des conditions les plus économiques possible.

I.5.1 Possibilités de la fonderie :

La fonderie donne beaucoup de possibilités qu'il est nécessaire de rappeler avant d'aborder l'étude des techniques de fabrication. On peut disposer comme suit :

- **Composition des alliages :** on peut noter lesquels

  - Les alliages ferreux courants (fontes (fonte grise lamellaire FGL.Fonte grise sphéroïdale FGS), aciers) ;

  - Les alliages non-ferreux (aluminium, bronze, magnésium, zamac...) ;

- Les alliages spéciaux, aciers inoxydables, réfractaires, in usinables, difficiles à mettre en forme par d'autres procédés de fabrication.

- **Structure des alliages** : Par exemple aux traitements thermiques, on peut modifier la structure de certains alliages coulés. En outre pour une même pièce on peut obtenir des structures différentes dans certaines parties de celle-ci.
  Donc il faut également noter que tout alliage moulé est isotrope.
- **Pièces :**

- **Dessin :** On peut mettre la matière où cela est nécessaire en fonction des contraintes subies par la pièce, mais en respectant les règles du tracé des pièces.
- **Formes :** on peut concevoir des pièces monoblocs, plus compliquées intérieurement et extérieurement que celles obtenues avec d'autres procédés, pour leur permettre d'intégrer plusieurs fonctions et pour supprimer des raccords.
- **Précision dimensionnelle :** aux progrès considérables accomplis dans les dernières décennies dans les techniques de fabrication, notamment en moulage-noyautage, la précision dimensionnelle des pièces de fonderie s'est très nettement améliorée, et l'on peut souvent parler d'une précision de quelques dixièmes de millimètre en moulage traditionnel ; cette précision dépend d'un certain nombre de facteurs parmi lesquels on peut citer les procédés de moulage-noyautage et les machines pour les mettre en œuvre , le dessin, la forme et la dimension des pièces, l'alliage choisi, le nombre de pièces à exécuter, le coût admissible pour la fabrication de la pièce, sachant que la grande précision coûte cher.
- **Aspect superficiel :** la surface de la pièce (appelée aussi : peau de pièce) présente des qualités d'aspect et des caractéristiques de surface (rugosité) liées à la nature des matériaux de moulage employés ; aux alliages utilisés ainsi qu'aux conditions de coulée et de refroidissement mises en œuvres.
- **Masse unitaire des pièces :** on a produit des pièces dont la masse unitaire allait de moins de 1 g à plusieurs centaines de tonnes.

- **Coûts de fabrication :** la fonderie est le plus court chemin pour l'obtention d'une pièce, partant directement des matières brutes (ferrailles, sable,) pour fabriquer et livrer un produit fini, dans des conditions les plus favorables sur le plan énergétique et économique.

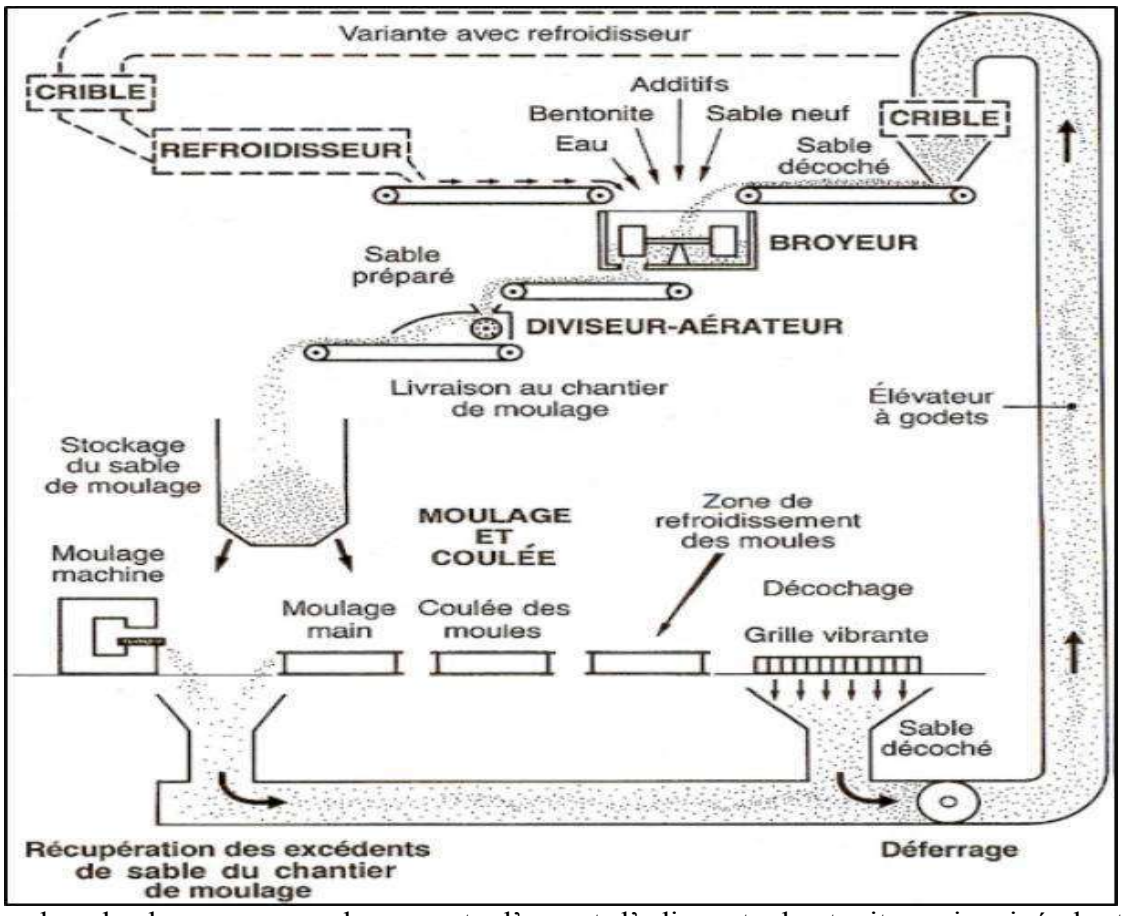
I.6 Processus de fabrication :

a. Modelage : réalisation de modèles et boites à noyaux.[1]

b. Fusion : élaboration du métal FGL20 (5 éléments de base pour la fonte : carbone –soufre – Manganèse –Phosphore –Silicium).

c. Sablerie : préparation de sable de moulage (bentonite, charbon, sable neuf, l'eau, sable retour)

La préparation et la régénération des sables récupérés après décochage se font dans des installations appelées sableries où les sables sont tamisés, d'émottés, concassés, déferrés, dépoussiérés et refroidis (dans certains cas avant d'être malaxés et mélangés



dans les broyeurs avec les apports d'eau et d'adjuvants, bentonite, noir minéral, etc.), pour être ensuite envoyés aux machines à mouler.

Figure 3 : Schéma de principe d'une sablerie.

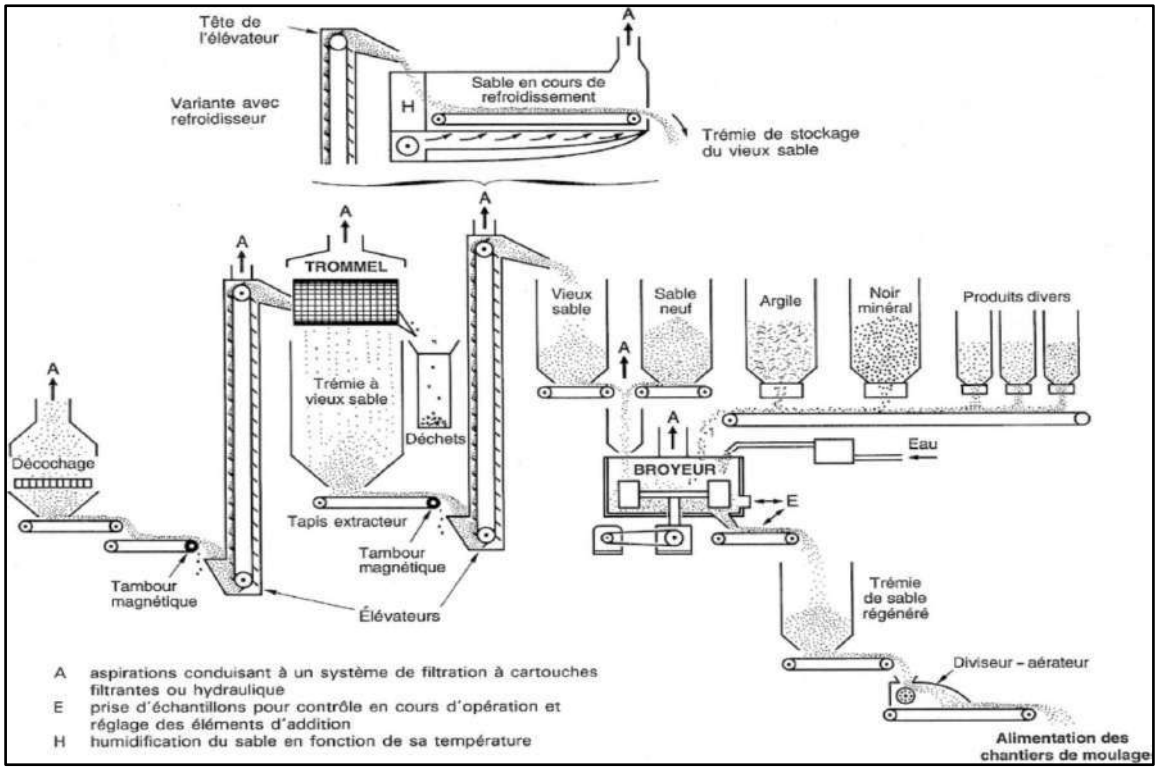


Figure 4 : Schéma synoptique des systèmes de manutention et de stockage d'une sablerie.

d. Noyautage : préparation de noyau, les principes équipements de cette étape sont :

- Malaxeurs à ailettes.
- Machine à tirer les noyaux en CO2
- Machine à tirer les noyaux en CODE BOXE
- Machine pour des noyaux CRONNIG
- Mélangeur continu AMD 6 pour NO_ BACK
- Four d'étivation

- **Procédé Cold BOXE :**

Sable siliceux	(96,8-97,8)%
Liant résine synthétique	(1,5-2,0)%
Durcisseur (Guisnel)	(0,6-1,2)%

La préparation de pré mélange s'effectue dans le mélangeur à ailette pendant 5mn.

Quant à la préparation finale, elle s'effectue dans la machine à titre par pneumatique à une température variante de 15à40°C dont la durée de durcissement est de 15à60 secondes.

Le stockage des noyaux ne doit pas dépasser les 8jours pour tous les procédés (sauf cronnig Illimitée).

- **Procédé NO-BACK :**

Le mélange est obtenu au moyen de liant, de résine synthétique ou purânique en ajoutant un catalyseur au sable siliceux.

Sable siliceux	(96,0-97,0)%
Liant à résine synthétique	(1,3-2,0)%
Durcisseur (Guisnel)	(1,0-2,0)%

Ces différentes matières sont traitées à des températures variant de 15 à40°C.

Durcissement de 15à30 mn s'effectue dans les boites.

Les noyaux noircis sont séchés au four à une température de 120 à 150°C pendant une durée de 15 à20 mn.

Les valeurs physiques des noyaux dépendent essentiellement du temps du durcissement, de température, et de la matière.

Les valeurs de la résistance au pliage doivent donner après :

1heure	7KGF/cm²
2heures	18KGF/cm²
4heures	24KGF/cm²

- **Procédé CO_2 :**

L'opération du durcissement s'effectue en utilisant le verre soluble comme composant et le gazage au CO2 pour le durcissement.

Matière	Pourcentage en %	Temps de malaxage en (min)	Temps de gazage en (min)
Sable siliceux	95	03 min	15 min
Silicate de soude	05		

N° Essai	1	2	3	4	5	6
Temps de stockage (h)	1/2	1	2	3	4	24
La résistance à la flexion ($kgf/cm^{2)}$	3-3-4	6-5-6	6-7-7	8-8-9	9-10-9	21-25-22

- **Procédé CRONNIG :**

Les boites à noyaux sont chauffées jusqu'à une température variant de 280à 300°C avec un temps de prise de 4mn maximal.

e. Ebarbage :

L'ébarbage est l'opération qui, en fonderie, consiste à éliminer les bavures de métal qui se sont solidifiées au niveau du joint entre les deux parties de moule. Ce processus se fait par quartes étapes sont :

- Le débourrage : est l'opération qui permet d'extraire le sable contenu à l'intérieur d'une pièce, après coulée et solidification. [2]
- Dessablages : est une opération qui consiste à enlever le sable. [2]
- Ebarbage : est une opération qui consiste à enlever les appendices à l'intérieur et à l'extérieur d'une pièce. [3]
- Peinture : est une demande particulière du client qui a généralement pour objectif de protéger la pièce contre la corrosion, mais qui peut aussi répondre à un objectif décoratif ou d'aspect. [4]

f. Moulage :

L'opération de moulage consiste à fabriquer un moule, généralement en matériaux réfractaires, qui porte l'empreinte en négatif de la pièce, cette empreinte étant obtenue à partir d'un modèle reproduisant la pièce à fabriquer.[5] Elle détermine en effet, d'après le modèle, les formes de la pièce à couler, ses dimensions et leur précision, ses états de surface, son refroidissement, et joue un rôle prépondérant sur de très nombreux paramètres influent sur sa qualité.

f.1 Types de moulage :

Le moulage est la plus importante opération de fabrication en fonderie, c'est elle qui détermine les caractéristiques principales de la pièce et qui influe dans une très large proportion sur son niveau de qualité.

- **Moulage main**

C'est le mode de moulage le plus anciennement utilisé dans toutes les fonderies. Avec le développement du machinisme et de la mécanisation, adaptés à des productions de masse, il a peu à peu régressé pour être surtout employé aujourd'hui dans les ateliers de fabrication de pièces unitaires de tous tonnages ou de très petites séries, ne justifiant pas, dans ce cas, des coûts d'outillage type machine trop élevés.

- **Principe**

On peut mouler une pièce d'après un modèle réalisé habituellement en bois, ce modèle pouvant être parfois simplifié (modèles car casses ou squelettes, trousseau...).

Le modèle est généralement séparé en deux parties suivant un plan de joint, une demi partie servant à faire le moule de dessous, l'autre demi partie, le moule de dessus.

Pour les plus gros moules, chaque partie de modèle peut être posée directement sur des marbres, à même le sol de l'atelier.

Toutes les parties en creux de la pièce qui ne se démoulent pas sont fabriquées dans les boîtes à noyaux pour être ensuite positionnées dans des parties prévues sur le modèle et reproduites en creux dans le moule.

L'apparition des modèles en polystyrène et des sables autodurcissants a permis de simplifier toutes ces opérations et d'apporter des gains de manutention considérables.

On peut aussi, en moulage main, surmouler une pièce irréparable que l'on utilise comme modèle pour fabriquer une pièce de remplacement.

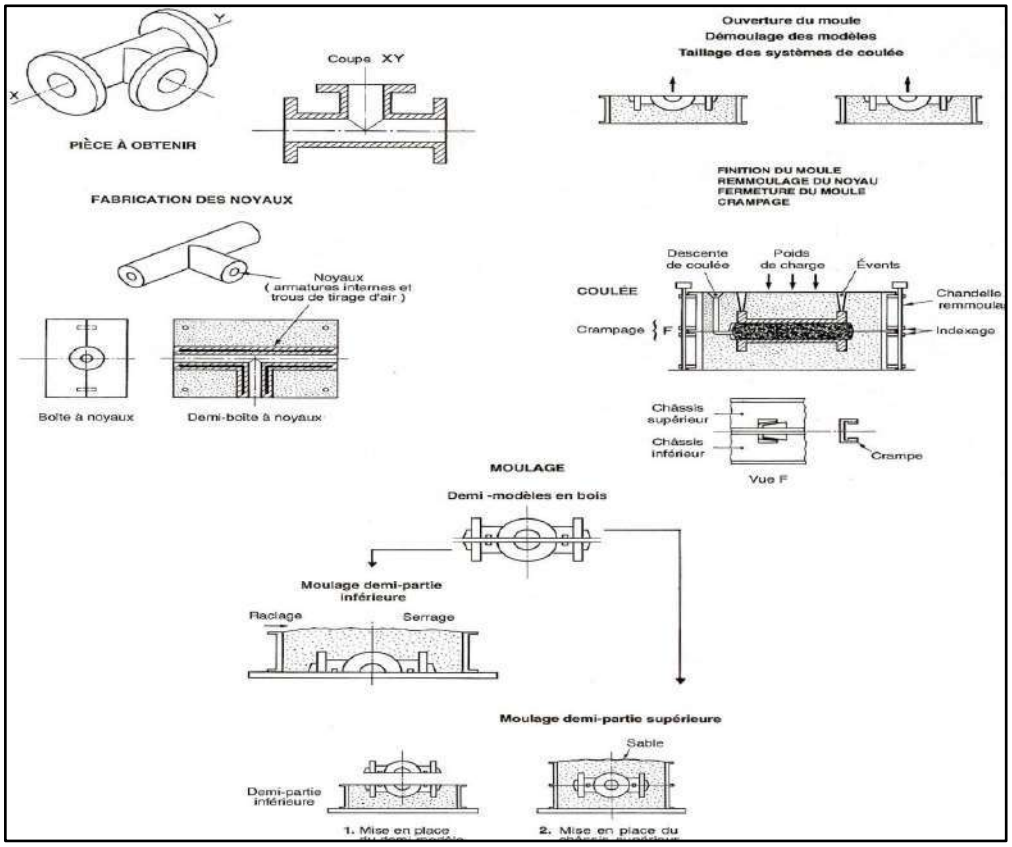


Figure 5 : Fabrication d'un élément de tuyauterie par moulage main.

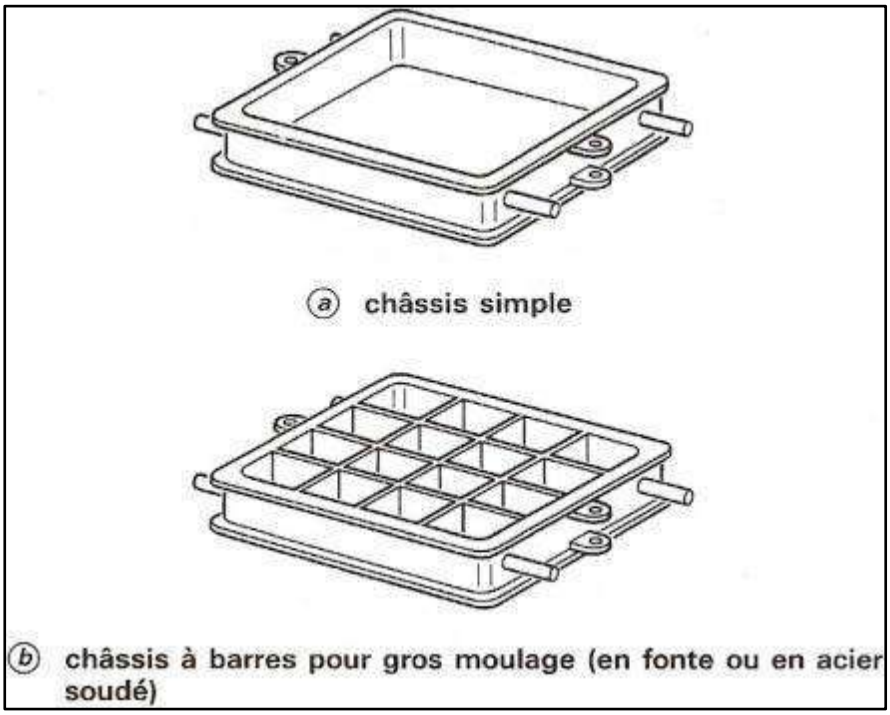


Figure 6 : Châssis pour moulage main.

- **Moulage machine :**

Il se réaliser d'un moule à l'aide d'une machine à mouler nécessite après remplissage du châssis en sable de moulage deux opérations fondamentales :

- Tassage et serrage du sable sur le modèle ;
- Démoulage, c'est-à-dire séparation du moule et du modèle**.**

Suivant la pression développée sur le plan de joint, on peut distinguer deux types de serrage : le serrage basse pression de (1,5 à 4 ou 5) 105 Pa (1,5 à 4ou 5 bar), le serrage moyenne et haute pressions : de (7 à 15) × 105 Pa (7 à 15 bar).

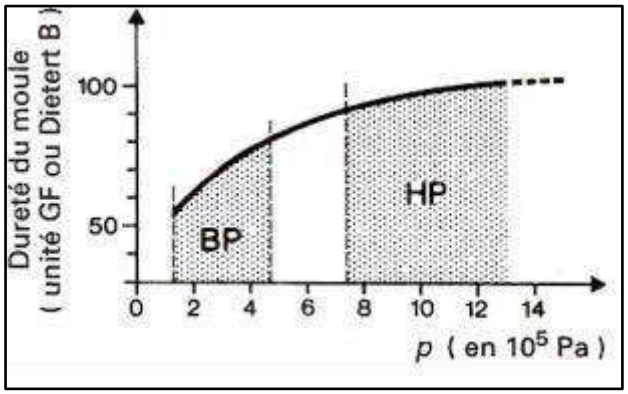


Figure 7 : Variation de la dureté des moules en fonction de la pression de serrage.

f.2 Classement des procédés de moulage :

Il s'agit des plusieurs procédés de moulage lesquels : moulage, pose à noyau, Remoulage et fermeture des châssis, la coulé, refroidissement, et découchage.

Tableau 1 : Classification des procédés de moulage

Types de moulage	Liants	Principaux types de sable	Utilisation		Observation
			Moulage	Noyautage	
I. Moulage à modèles permanents					
1. Sables restant plastiques	Minéraux	Silico-argileux	×	×	Moulage main
			×		
		Sable à vert		×	Moulage machine
			×	×	
2. Sables durcissement thermique.	Organiques	-huiles siccatives		×	
			×		Noyautage Et moulage en mottes Ou carapaces
		-Corning	×		
		-boîtes chaudes	×		
3. Sables durcissement chimique :	Minéraux		×		
- Autodurcissants.		Ciment • plâtre			Moulage main
		• silicate-argile	×		
				×	
- Par gazage.	Organiques	• silicate d'éthyle	×		
			×		
				×	Moulage-noyautage
	Minéraux			×	
4. Sables durcissement physique :	Organiques			×	
- V procès.		Furanique		×	Noyautage essentiellement
- congélation.				×	
		Silicate-CO2	×		
		Ashland	×		
		Hardox-SO2			Moulage moulage
	Sans liant	Iso cet			
		Be tacet			
		Siliceux siliceux			
II Moulage à modèles perdus					
1. Polystyrène expansé.	Sans		×		
2. Ci reperdue.		• siliceux	×		
3. Mercure congelé.	liant		×		
		• barbotine réfractaire			
		• barbotine réfractaire			
III Moulage en moules métalliques	**Alliages coulés**				
1. Coquille gravité					
2. Coquille basse pression	Métaux ferreux et non ferreux suivant les procédés				
3. Moulage sous pression					
4. Moulage par forgeage liquide					
IV Procédés spéciaux	**Alliages coulés**				
1. Moulage avec refroidisseurs					
2. Moulage avec inserts					
3. Moulage pièces bimétal	Métaux ferreux et non ferreux suivant les procédés				
4. Moulage par centrifugation					
5. Moulage en coulée continue					
6. Moulage à empreintes souples					

f. 3 Choix des procédés de moulage :

Les procédés de moulage ont chacun des caractéristiques bien précises d'emploi qui les destinent préférentiellement à certain type de production (pièces unitaires, de moyennes ou grandes séries, en métaux ferreux, non ferreux, pièces de plus ou moins grandes précisions, etc.), ce qui nécessite, au moment du choix, de bien connaître les performances et les prix de revient de chacun des procédés possibles .[6] Donc il faut prendre en considération :

- La facilité de préparation et de mise en œuvre des sables et des liants
- La durée de vie des sables préparés
- La bonne aptitude au stockage
- La perméabilité des sables moulés permettant une évacuation facile et rapide des gaz provenant de l'empreinte, du métal, des liants et des additifs éventuels, notamment pour les noyaux
- La réfractait et la bonne tenue à la chaleur au moment du remplissage de l'empreinte par le métal liquide
- Les bonnes caractéristiques à froid et particulièrement :
    - Une résistance à la compression suffisante pour les moules
    - Des résistances au cisaillement, à la traction assez élevées pour éviter des ruptures du sable au moment du démoulage
    - Compressibilité ou aptitude au serrage
    - Des moules rigides, notamment pour les fontes GS afin de s'opposer au gonflement graphitique à la solidification
- L'absence de réaction du matériau de moulage ou de noyautage avec le métal liquide, qui risque de provoquer des défauts sur les pièces, décarburation ou décarburation superficielle, dégénérescence du graphite sous l'influence de certains composants des liants,
- Les possibilités de récupération (sables chimiques) et de régénération (sables argileux)
- La compatibilité entre les systèmes de liants employés

I.7 Type de sables de moulage :

I.7.1 Origine des sables :

Les sables sont des produits naturels constitué de grains, soit de silice, soit d'autre matière comme le zircon, l'olivine, la chromite, parfois des produits naturels transformés comme la charmotte (argile calcinée).

Les sables naturels sont extraits de carrières exploitées généralement à ciel ouvert. Ils se trouvent sous forme de dépôts, formés de couche superposées plus ou moins régulières. Les qualités varient d'une carrière à l'autre et dans une même carrière, les couches peuvent être très différentes.

Un utilisateur a toujours avantagé à bien connaitre la carrière d'où provient le sable qu'il utilise. Il devra non seulement s'assurer des qualités du sable, mais aussi vérifier que le gisement est capable de fournir régulièrement cette qualité. C'est pourquoi il est préférable de ne retenir que des couches très épaisses[7] .

I.7.2 Sable à vert de moulage :

Le sable de moulage doit être infusible (résister à la température de coulée du métal), résistant (résister à l'érosion du métal liquide) et poreux (ne peut s'opposer au passage des gaz produits au moment de la coulée)

La silice est la base de tous les sables de moulage. Elle se présente sous l'aspect de grains plus ou moins gros et gros et arrondis qui donnent aux sables des degrés de finesse très variable. Elle résulte de la combinaison du silicium et d'oxygène $Si + O_2 \rightarrow SiO_2$, la densité de la silice est 2.65g/cm3et sa température de fusion1730°C. [7]

I.7.2.1 Propriétés du sable utilisé :

Pour être apte au moulage, un sable de fonderie doit posséder un certain nombre de qualités fondamentales qui sont :

- La plasticité, c'est-à-dire l'aptitude du sable à prendre la forme du modèle.
- La cohésion qui permet au sable de conserver la forme donnée par le modèle, et de résister aux contraintes prenant naissance lors de la coulée du métal en fusion.
- La perméabilité : Aptitude du sable à se laisser traverser par les gaz au moment de la coulée, gaz emprisonnés à l'intérieur du moule par le métal

ou issus de la combustion de certains éléments lors de l'élévation de la température.

- La résistance à la chaleur : Propriété du sable de ne pas se dégrader sous l'influence de la chaleur du métal liquide soit par fusion des éléments fins soit par dilatation excessive de ses constituants, ce qui maintient la cohésion à chaud.

Ces propriétés mécaniques du sable dépendent d'un certain nombre de facteurs physiques liés à ses différents constituants et dont on retrouvera l'influence dans le tableau:

- La finesse des grains de sable diminue la perméabilité du fait de l'accroissement de la compacité du moule et de l'augmentation de la surface de frottement entre le sable et les gaz. La réfractai rite diminue de même, ce qui s'explique par l'augmentation du rapport surface/volume de chaque grain. Par contre, le fini de surface des pièces obtenues est amélioré.
- L'étalement de la granulométrie est défavorable à la plasticité. En effet une granulométrie concentrée avec des grains de diamètre uniforme donne un sable qui se serre en une masse régulière et ordonnée. La perméabilité diminue les grains les plus fins se logeant dans les interstices laissés par les plus gros.
- La forme des grains a aussi son importance, car des grains ronds améliorent la plasticité, la cohésion et la perméabilité.

Tableau 2 : Propriétés de Moulage.

	Plasticité	Cohésion à vert	Cohésion étuvé	Perméabilité	Réfeactairité	Tenue à dilatation	Cohésion à chaud	Fini de surface
Granulométrie fine	-	-	-	--	--			++
Granulométrie étalée	--	+	+	--		++/--		
Grains ronds	+	+	+	+				
Quantité d'argile	--	++	++	-	--	+	+	
Faible teneur en eau	-	++	++	++				
Teneur en eau optimale	minimale	forte		maximale				
Forte teneur en eau	+	--	++	--		+	+	-
Noir minéra1	-	+	+	--			-	++
Impuretés					--			

++ : Très favorable, + : favorable, - : défavorable, -- : très défavorable

I.7.2.2Composition du sable à vert :

Les sables de moulage naturels ou synthétiques contiennent les éléments suivants :

- Des grains de silice que l'on caractérise par leur dimension, leur répartition granulométrique et leur forme.
- Des éléments de dimension inférieure à 20µ comprenant :
  - L'argile (bentonite) (9-11%) proprement dite constituée de paillettes fines de l'ordre du micron qui renferment une certaine proportion d'eau de constitution.
  - Des poussières de silice (86-96%) et autres impuretés telles l'oxyde de fer, la chaux, des matières organiques, des alcalins qui peuvent former des silicates à bas point de fusion.
  - Des produits d'addition : noir minéral (2-6%) ou brai1 destinés à améliorer l'état de surface des pièces.

- De l'eau (1,5%) d'apport qui donne à l'argile ses propriétés de liant, afin de réunir les grains de silice entre eux.

a) Sable neuf quartzeux :

Est un sable du rivage est très-fin, de nature quartzeuse, mélangé d'environ une cinquième partie de terre calcaire fortement atténuée.

La base des sables siliceux est la silice SiO_2.

Le sable neuf quartzeux doit correspondre aux exigences suivantes :

- % SiO_2 mini 98 % ;
- % CaO + % MgO 0.5-1% au maxi ;
- % K_2O + % Na_2O 0.1-0.5% au maxi ;
- % Fe_2O_3 + %Al_2O_3 0.5% au maxi.

Ces impuretés abaissent la réfractairité du sable.

- Grosseur moyenne des grains 0.2-0.3mm ;
- Degré d'uniformité des grains 65-85% ;
- Matière en suspension (MS%) 0.5-2% ;
- Perte au feu 0.5% au max.

Suivant le (Tableau 3) la silice SiO_2 peut être suivant les conditions de température et pression, cristallisée sous forme de quartz α, β, de tridymite, ou cristobalite. [6]

Tableau 3 : Transformation de la silice en différents forme selon la température.

Température	Cristallographie de SiO_2	Dilatation
Ambiante	quartz α	-
173°C	quartz β	1.5%
867°C	tridymite	-
1470°C	cristobalite	3-5%
1730°C	Silice amorphe	-

Il intéressant d'étudier les transformations de phases, car les températures mises en jeu en fonderie de fonte et d'acier sont telles, qu'il y a transformation suivant les gradients de température de mouler.

En fonction de la température, le quartz α se transforme en quartz β à partir de 573°C (anomalie bien connue de la dilatation de la silice). Cette transformation est réversible.

Dilatation de 1.5% :

Le quartz β se transforme en suite en tridymite aux environ de 867°C.

A partir de 1470°C, le tridymite se transforme en cristobalite qui est une forme stable.

Dilatation de 3 à 5% :

Dans tous les cas, il s'agit de silice cristallisé et non de silice amorphe, puisque le point de fusion n'a pas été dépassé (transformation de quartz suivant les gradients de température du moule).

b) Noir minéral :

- **Définition :**

  Le noir minéral est typiquement un charbon pulvérisé, utilisé comme inhibiteur d'oxydation du métal en fonderie de fonte sous forme d'addition au sable à vert ou d'enduit.

- **Comment agit le noir minéral ?**

Un moule en sable constitué de sable siliceux, d'argile et d'eau est une masse poreuse humide.

La finesse du noir contribue à l'étalement granulométrique du sable et donc s'oppose mécaniquement à la pénétration du métal entre les grains du sable compacté.

A la coulée, l'atmosphère du moule est très chargée en vapeur d'eau et pourrait oxyder le métal. Les oxydes formés peuvent des défauts, mais aussi réagir avec la silice accentuant l'altération de l'état de surface de la pièce.

Le noir ajouter, se combinant à l'oxygène, permet un dégagement gazeux sous forme de CO-CO_2, créant un milieu réducteur dans le moule.

Le dégagement des matières volatils créent une protection à l'interface MOULE /METAL.

Le noir minéral doit être, selon la norme DIN composé de :

Tableau 4 : la Norme de noir minéral

Composants volatils (en état anhydre)	28-33%.
Teneur en Soufre en état brut.	0.8-1.3 % Max.
Teneur en eau en état brut.	3% Max.
Teneur en cendres.	7 % Max.
Degré de broyage, Résidu 0.2mm	0.0% Max.
Degré de broyage, Résidu 0.09mm	10.0% Max.

- **Analyse typique de noir minérale :**

Produit	Etat physique	Carbone brillant	Matière volatils	Cokes résiduels	Cendres	Soufre	Azote	Eau
Noir minérale	Pulvérulent	10	36	64	5.5	1	0.8	2

MV : 100-cokes résiduels.

Cokes = résidu de la calcination oxydante à 900°C.

Cendres = résidu de calcination oxydante.

CB = résidu de calcination dans un appareillage.

c) Argile :

- Qu'est-ce que l'argile ?

Il s'agit d'une argile dont le constituant principale est la montmorillonite. La montmorillonite : constituant principale : silicate d'alumine hydratée ou de magnésie hydratée.

La formule chimique des argiles ordinaires : Al_2O_3 .$2Sio_2$ .NH_2O. L'alumine hydratée combinée à la silice donne de l'argile de couleur blanche, douce ou toucher, très réfractaire. Suffisamment mouillée, elle forme une pate liante facile à façonner.

L'eau contenue dans l'argile se présente sous deux formes :

c.1 Eau de constitution :

Donne la vie à d'argile et ne disparait qu'a plus de 300°C au de-de là de cette température, elle perd toutes ses qualités utiles de moulages, devient morte, le sable est dit brulé. Il conviendra de ne pas dépasser la température critique au cours de l'étuvage des moules.

Au cours de la coulée, l'argile qui est au contact du métal se déshydrate et perde son pouvoir liant. C'est cette partie inutile qu'il faut éliminer par dépoussiérage et remplacer par une addition de bentonite.

c.2 Eau d'addition ou d'imbibition :

Qui conditionne l'humidité. Une plus au moins grande humidité donnera une moins à la plus grande plasticité au sable.

En augmentant l'humidité, l'argile se dilue, et le sable devient boue et perd ses qualités.

Les sables de moulage seront donc préparés avec le minimum d'humidité compatible avec une plasticité convenable.

A l'humidification les bentonites se gonflent, à l'étuvage les bentonites se contractent.

C'est pourquoi les bentonites sont utilisées que pour les moules à vert. On n'utilise jamais la bentonite pour les moules étuvées.

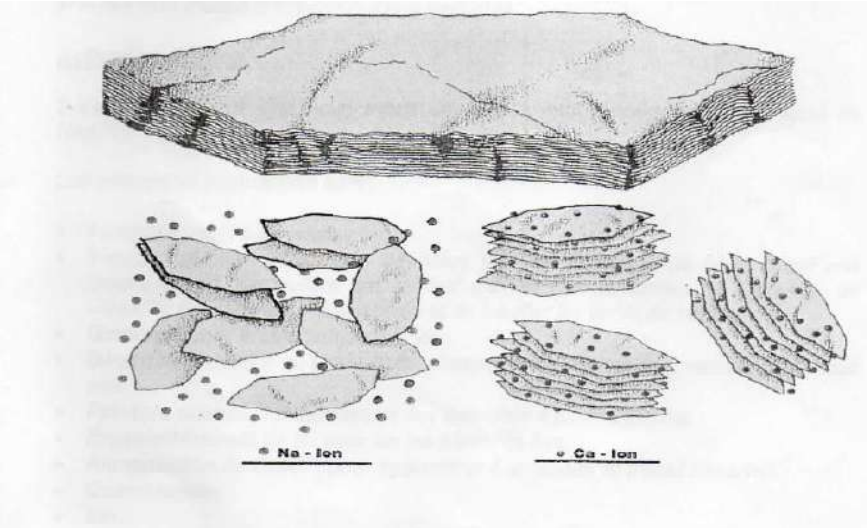


Figure 8 : Réseau de la Montmorillonite.

c.3 Bentonite :

Est un minéral industriel principalement composé d'argile. Générée à partir de cendres volcaniques, elle est constituée de minéraux de smectites, comprenant l'hectorite, la saponite, la nontroite ou la beidelite.

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des montmorillonites de formule brute :

$Si_4 (Al_{(2-x)}R_x) (O_{10,} H_2O)(Ce_{x,} nH_2O)$ ou $Si_4 (Al_{(2-x)}R_x)(H_2O)n$ avec :

- R=Mg, Fe, Mn, Zn, Ni
- Ce (cations échangeables) = Ca, Na, Mg.

La bentonite est couramment utilisée comme matériau de liaison dans la préparation du sable pour produire de l'acier, du fer, et d'autres matériaux.

La bentonite doit être : selon la norme TGL

Tableau 5 : La norme de bentonite

Humidité en état de livraison	6% Max
Perte au feu à 1000°C	10% Max
Matières décantés	37% Min
Volume apparent	$10cm^3$
Refus sur tamis 0.063	30% Max
Volume gonflé	$95.5cm^3$au min .après 24h
pH	9
Teneur en montmollinite	70%Min

c.3.1 Structure de la bentonite en feuillets :

Le feuillet élémentaire est composé de deux couches tétraédriques de SiO_2 au milieu desquelles existe une couche octaédrique constitué d'Al_2O_3.Et présence d'eau de constitution entre chaque feuillet élémentaire.

Cette structure en feuillets confère à la montmorillonite d'eau et de gonflement très importants.

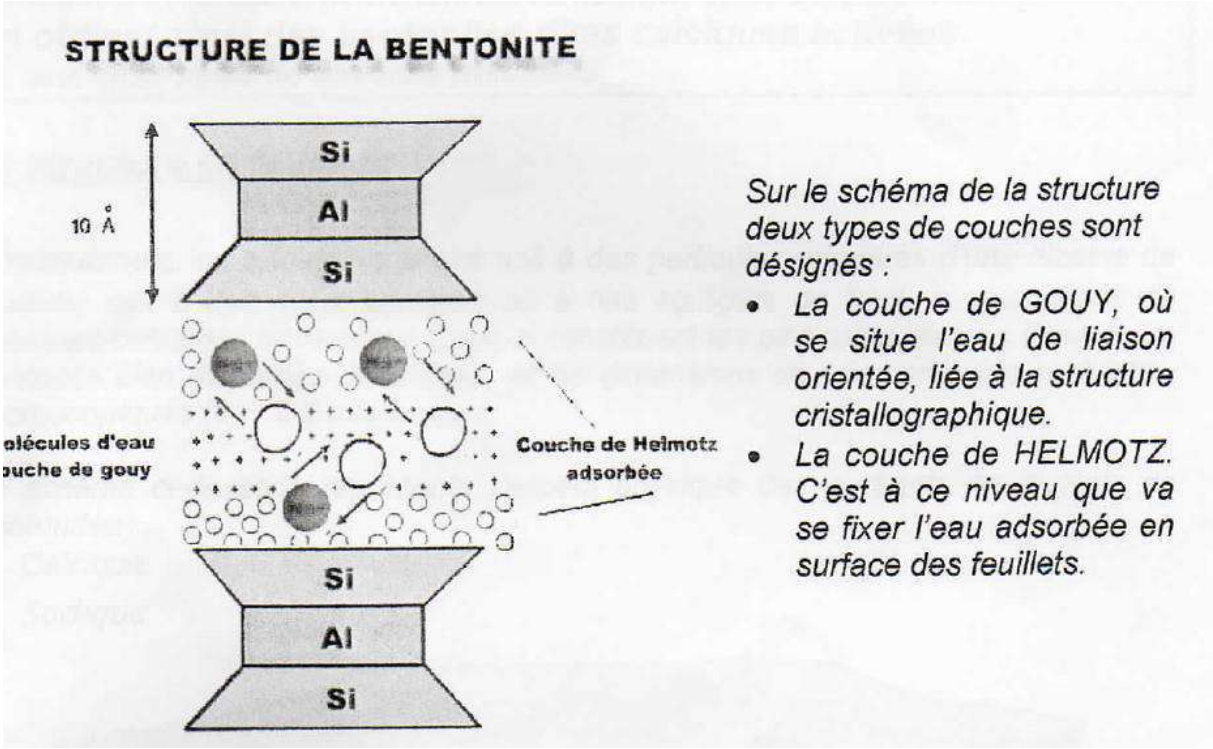


Figure 9 : Structure de la bentonite.

I.7.3 Sable furanique:

Sable furanique est un sable de moulage se principe repose sur l'utilisation d'un sable à base de résine synthétique (résine furanique) qui est ensuite mélangé avec un catalyseur, lequel provoque la polymérisation et donc le durcissement du sable.

Le sable furanique est mélange de résine, acide et sable neuf. Il est particulièrement utilisé pour le moulage de grosses pièces en raison rigidité. [8]

Le phénomène de prise des sables autodurcissants aux résines furanniques repose à la propriété qu'ont ces résines thermodurcissables de durcir assez rapidement repose température ambiante, en présence d'un catalyseur acide.

La transformation peut être représentée par le schéma ci-après :

Milieu acide

Résine liquide + catalyseur + sable → solide +chaleur + vapeur eau.

Il s'agit d'une polycondensation à caractère très exothermique libérant de l'eau.

La chaleur produite par la transformation accélérée celle-ci ; avec certaines résines sa vitesse double pour un accroissement de température.

Les considérations précédentes permettent de préciser que les facteurs fondamentaux influençant le durcissement de ces résines sont :

- La nature et les propriétés de la résine utilisée ;
- L'acidité du milieu (pH) ;
- Sa température ;
- Sa teneur en eau ;

Les résines utilisées sont appelées communément résines furanniques et vendues sous des désignations commerciales variées.

Ces sont résines synthétiques dans la fabrication desquelles entrent de l'alcool furfurylique et le plus souvent une ou plusieurs autres substances telles que :

- Le formol ;
- Les résines urée –formol ;
- Les résines phénol-formol ;

La préparation d'alcool furfurylique dans ces résines est variable et le plus souvent supérieure à 50% afin d'obtenir, à la température ambiante, des vitesses de prises suffisantes.

Les principales raisons de l'emploi de l'alcool furfurylique dans les résines sont les suivantes :

- Sa réactivité est très grand ce qui permet de grandes vitesses de prise.
- C'est un excellent solvant de nombreuses résines (urée-formol, phénol-formol, etc.).
- Il a de bonnes propriétés mouillantes.
- Il n'est pas toxique pendant les manipulations ;
- Condensé avec une urée-formol il donne une résine qui, par rapport à cette dernière :
  - ✓ Est plus résistante à chaud ;
  - ✓ Dégage moins de gaz ;
  - ✓ Est plus stable dans le temps ;
  - ✓ Permet des durées de vie plus longues du sable ;
  - ✓ Ces résines s'emploient à un taux de 1 à 1.2 %.

I.7.4 Sable en CO_2 :

Le procédé met en œuvre les constituants suivants :

- Du sable.
- Un silicate de soude.
- Du dioxyde de carbone (CO_2).

Le sable est préalablement mélangé au silicate de soude, le mélange est ensuite serré dans un moule puis gazé au CO_2.

La prise débute dès la mise en contact du sable au silicate avec le dioxyde de carbone.

Il convient de remarquer que le mélange sable-silicate peut prendre après une exposition à l'air ambiant. Ceci est du non seulement à la présence de CO_2 dans l'atmosphère, mais aussi à une simple déshydratation du silicate.

- **Produits utilisés :**
  - **Sable :**

En peut faire appel à différents types habituellement utilisés en fonderie (silice, chromite, zicron), la silice étant le matériau le plus employé.

Il est indispensable que le sable soit employé sec et froid au moment de la préparation des mélanges. En effet, une humidité trop importante du sable entrave la prise et entraine une baisse des caractéristiques mécanique du moule. De plus, un sable trop chaud favorise la dessiccation du silicate et donc accélérer la prise.

La granulométrie est à adapter aux fabrications selon les règles de moulage classiques.

Il convient d'apporter une attention toute particulière au taux des particules inferieures à 20µm présents dans le sable. En effet, lorsque cette teneur est très basse, les durées d'insufflation sont relativement longues et la consommation en CO_2 est accrue. A l'inverse, une présence de fines en quantité trop importante diminue les résistances mécaniques et rend le moule sensible à l'effritement (pour pallier cet inconvénient, on peut augmenter la teneur en silicate).

Pratiquement, les sables qui donnent généralement satisfaction ont une teneur en fines comprise entre 0.3et 0.8%.

I.7.5 Machines de moulage :

- **Moulage Main :**

On utilise dans les fonderies de moyennes et grosses pièces des machines spéciales pour aider au remplissage et au serrage des gros moules ou comme assistance pour certaines opérations, comme le démoulage des modèles par retournement.

Pour le serrage des moules, on peut utiliser :

- Des secoueurs à moules pour tasser le sable (Figure 9) ;
- des machines à projection de sable (Piper) (Figure I0) fixes ou mobiles, projetant le sable de moulage par l'intermédiaire d'une turbine à palette.

Le serrage avec ces machines, correct sur le plan de joint et sur les parties horizontales, n'est pas parfait sur les parties verticales. Ce sont des machines bruyantes, assez difficiles à manier et dont l'efficacité n'est pas excellente. Elles tendent à disparaître au profit des moulages en sables autodurcissants.

Les démouleuses à retournement (Figure 11) facilitent le démoulage des modèles en remplaçant la classique opération d'extraction au palan après retournement des moules.

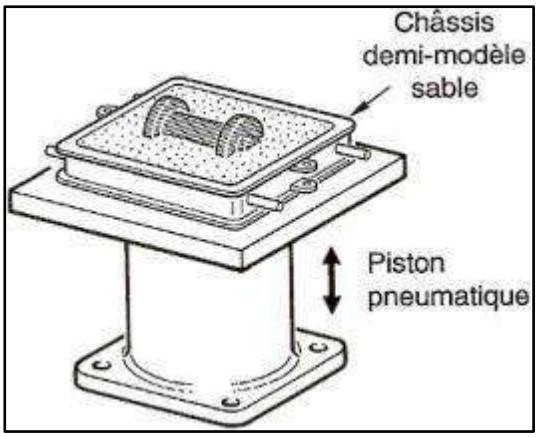


Figure10 : Secoueurs à moule.

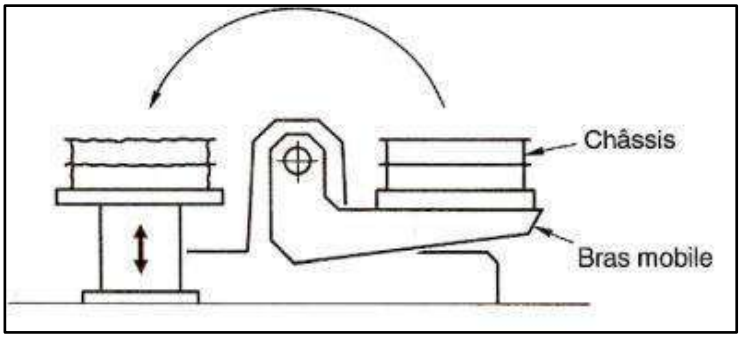


Figure 11 : Machine à retourner et à démouler.

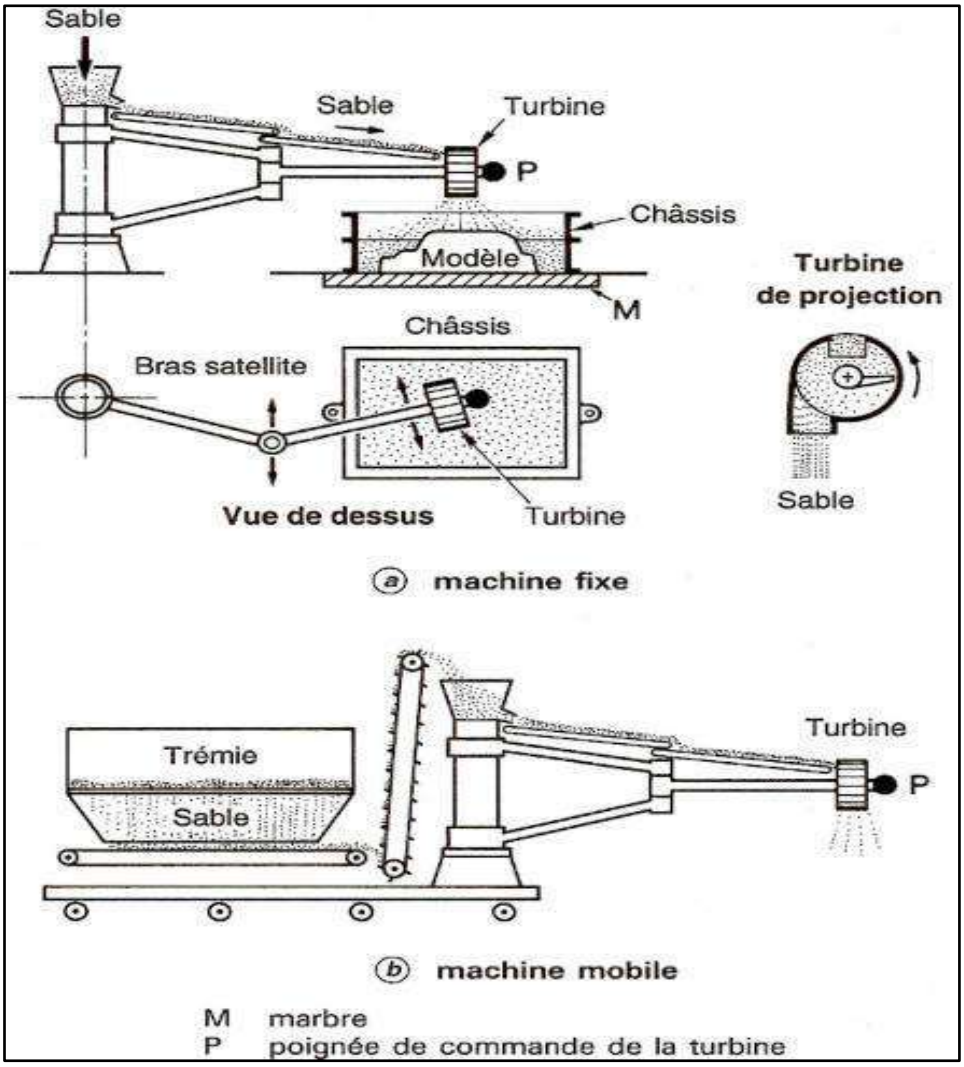


Figure 12 : Machine à projection de sable (Piper).

- **Moulage machine :**

Il constituer ses machines suivantes :

- Une machine à mouler du type DFM-AD effectuant la réalisation des moules par serrage.[9]
- Des convoyeurs à bonde pour alimentation en sable.
- La trémie de sable préparée en dessus de la machine à mouler pour stockage de sable.
- Tapis extracteur transport le sable vers la machine à mouler.
- Les châssis supérieurs et inférieurs (72-01).
- Dispositif de raclage pour faciliter ainsi un large appui des châssis inférieurs.
- Machine de fermeture.
- Dispositif de précentage supplémentaire pour obtenir ainsi le plus haut degré de précision.
- Dispositif de poussée et d'amortissement (13-01/14-01).
- Dispositif particulière d'indexage.
- Le moule pour la machine à couler le métal liquide.
- Chariot de transfert distribue les châssis vers le circuit de refroidissement.
- Le dispositif de levage.
- Position de défonçage, les châssis sera tiré sur le piston de défonçage fixe et le paquet consistant en pièce coulée et sable sera défoncé sur la grille de décochage (40-03) ou sera le sable séparé de la pièce.





Figure 13 : La chaine de refroidissement. **Figure 14 : Une machine à mouler du type DFM-AD.**

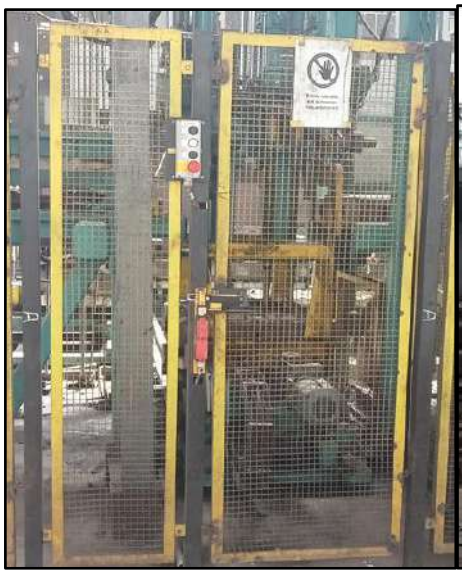




Figure 15 : Machine de fermeture. **Figure 16 : Machine de couler.**



Figure 17 : Décocheuse.

I.7.6 Contrôle et Laboratoire :

Le laboratoire de fonderie rassemble tous les appareils de contrôlée de suivi des caractéristiques chimiques et physiques des pièces fabriquées et des matériaux mis en œuvre.

Tout d'abord en commencer par contrôle de réception des matières premières par exemple granulométrie des sables, conformité des analyses des métaux neufs, caractéristiques des argiles, des résines, des liants, de silicate de soude. Ensuite, contrôle de processus c'est-à-dire permet de vérifier, à chaque stade du processus de fabrication, la conformité des variables de la production avec les réglages prévus par les fiches d'instruction, ce contrôle soit visuel soit dimensionnel. Par exemple dans le processus de moulage (Analyses et contrôles périodiques)

- Des sables de moulage, par exemple toutes les demi-heures dans les installations de grande production, analyses faites généralement au laboratoire des sables ;
- De la dureté des moules ;
- De la température de coulée dans les moules ;
- Des dimensions des pièces ;
- Du bon fonctionnement des machines et des outillages ;
- En fonderie en coquille : suivi du poteyage, de la température des outillages, etc.

Puis analyse des matières première (bentonite, charbon, silicate de soude…), analyse de métal (contrôle des éléments nécessaires C, Si, Mn, P, S (analyse chimique rapide), analyse de sable (humidité, granulométrie …).

Chapitre II : Méthodes et Matériels

II.1. Contrôle de matières premières

II.1.1. Analyse du sable neuf :

II.1.1.1. Détermination de la densité de sable neuf

II.1.1.1.1. Détermination de la densité apparente de sable neuf :

Pour déterminer cette caractéristique, peser l'échantillon tassé et mesurer sa hauteur pour pouvoir ensuite calculer son cubage.

- **Analyse**

Le poids en g divisé par le volume en cm^3 donne la densité apparente de hauteur prescrite, on peut admettre le volume à env. 98.2 cm^3après quoi il est possible de déduire facilement de la pesée, la densité apparente.

On a la relation suivante :

$$r = \frac{M}{V}\left[{}^{g}/_{cm^3}\right]$$

r: densité apparente $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$.

M: poids de l'échantillon [g].

V: volume de l'échantillon [cm^3]. [10]

II.1.1.1.2. Détermination de la densité en vrac :

II.1.1.2. Déterminer de la teneur en eau d'un sable neuf :

- **Matériel :**

- Balance électronique ;
- Capsule ;
- Chauffage (sécheur) ;
- Dessiccateur.



Figure 18 : Appareil de Chauffage (sécheur).

- **Mode opératoire :**

- Peser la capsule vide.
- Peser m=10g de sable neuf par balance électronique.
- Séchage dans chauffage (sécheur) pendant 10-15 minutes.
- Laisser le sable refroidirai dans le dessiccateur pendant 5 min.
- Peser le sable après séchage, noter la valeur

- **Expression de calcul :**

$$H\% = (m_i - m_f) \times 100$$

m_i = la masse de matière peser avant le séchage .

m_f = la masse de matière peser après le séchage .

II.1.1.3. Détermination de la perte de feu :

- **Principe :**

Déterminer la perte de masse après calcination à une température de 1050°C.

- **Matériel :**

- Balance au dixième de mg.
- Four à moufle.
- Creuset en céramique.
- Capsules en porcelaine d'une capacité d'environ 50cm^3.
- Dessiccateur.
- Chauffage (sécheur).



Figure19 : Creuset céramique.

- **Mode opératoire : [11]**

- Sécher l'échantillon de sable pendant (10 min).
- Refroidir dans le dessiccateur (5 -10 min).
- Peser m = 5g de sable.
- Mettre dans un creuset en céramique puis calciner. Dans four à moufle de température 1050°C pendant 2 heures.
- Refroidir dans le dessiccateur.
- Peser et noter la masse m'du sable calciné.

- **Expression de calcul :**

La perte au feu à 1050°C du sable se calcule de la manière suivante

$$\%PF = [(m - m')/E] \times 100$$

m: la masse de sable avant la calcination.

m′: la masse de sable calciné.

II.1.1.4. Détermination de la teneur en particules inférieures à 20 µm :

- **Principe :**

Le principe est fondé sur l'application de la loi de stokes, formule selon laquelle la vitesse de chute les particules de densité 2.65 et de dimension inférieurs à 20 µm en suspension dans l'eau à une température de 15°C, est de l'ordre de 2 cm par minute.

Une méthode consiste en décantation et siphonages successifs, l'autre utilise un appareil de lévigation continue dans lequel le sable est soumis à l'action d'un courant d'eau ascendant de débit constant.

On procède d'abord à une lixiviation dans une solution tampon dans le but de décoller les impuretés des grains de silice.

Dans le cas d'un sable préalablement lié chimiquement, l'échantillon séjournera une nuit dans un four à moufle à une température de 950°C afin d'éliminer les liante organiques.

II.1.1.4.1. Décantations et siphonages :

a. Appareillage :

Il comprend un bécher de 600 cm^3 et un siphon de 5mm de diamètre intérieur (figure II.2). Ce siphon comporte, à sa partie inférieur, une tige prenant appui sur le fond du vase et disposée de manière à ce que la distance du fond à la partie inférieure de l'orifice du siphon soit de 20 mm Ce dernier a une hauteur telle que sa parie supérieur ne repose pas sur le bord du récipient.

b. Mode opératoire :

Remplir d'eau le bécher contenant le mélange qui a été lixivité, jusqu'à une hauteur de 14.5 cm. Lorsque la suspension est revenue au repos, laisser décanter 10 minutes puis siphonner.

Remplir de nouveau à mi-hauteur, agiter à l'aide d'un agitateur à main (environ 30 s). Compléter à la hauteur de 14.5 cm. Une fois que liquide est au repos, laisser décanter de nouveau pendant 8 minutes. Siphonner comme précédemment.

Recommence cette opération en siphonnant après une décantation de 5 minutes exactement, jusqu'à ce que le liquide surnageant ne contienne plus d'argile en suspension, c'est-à-dire apparaisse absolument limpide.

Au moyen d'un jet de pissette, transvaser le sable dans une coupelle tarée. Laisser reposer au moins 5minutes. Décanter la majeure partie de l'eau en prenant bien soin de n'entrainer aucune particule de sable. Sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante. Après essais, conserver l'échantillon dans un dessiccateur si une analyse granulométrique doit être effectuée.

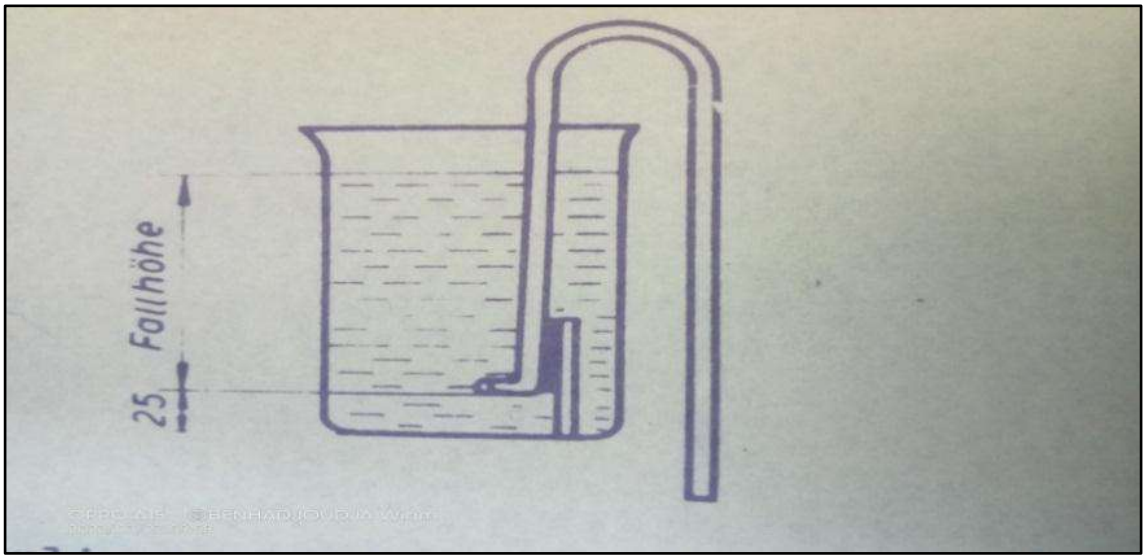


Figure20: Siphonage.

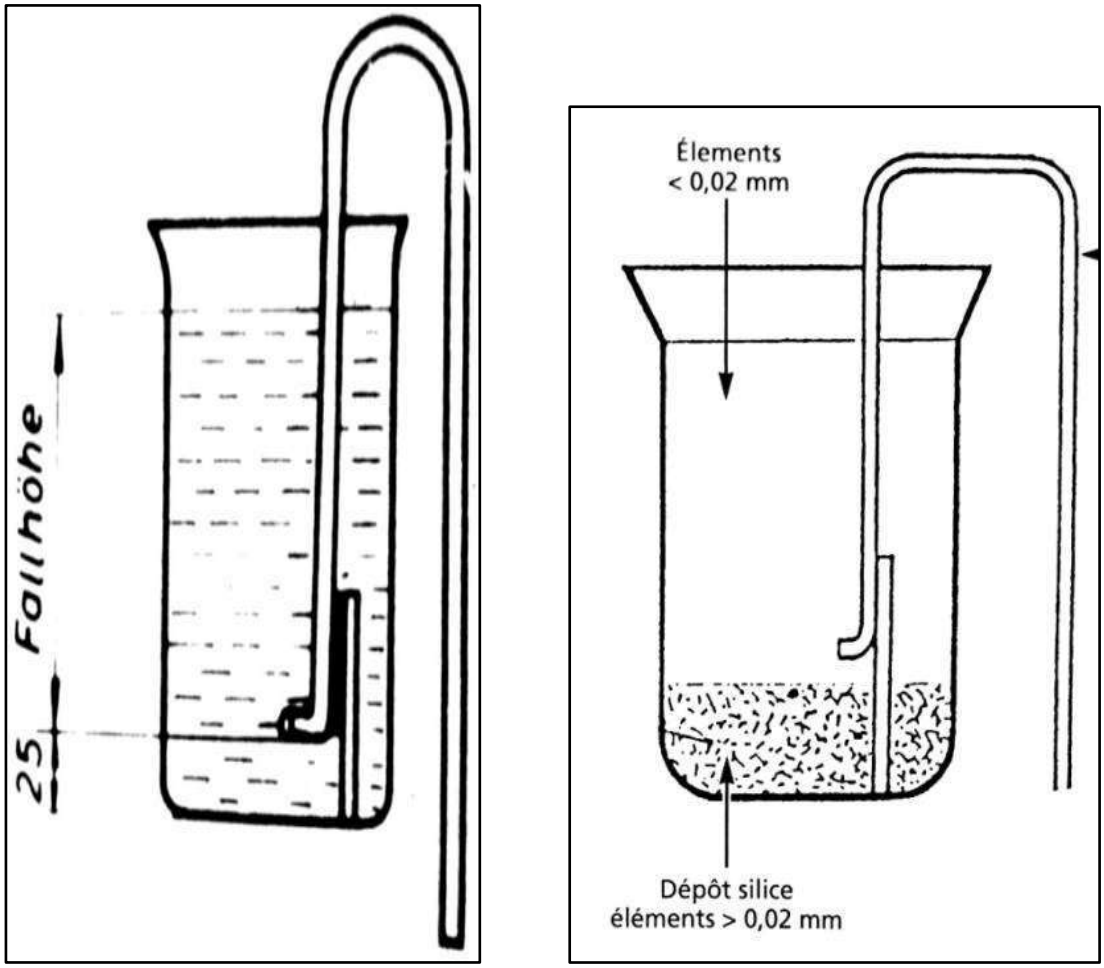


Figure 21: (Siphonage) Séparation des éléments inférieurs à 0.02 mm et des éléments supérieurs à 0.02 mm par décantation.

II.1.1.5. Détermination de la répartition granulométrique de sable neuf :

- **Principe :**

Séparer la différente tranche granulométrique d'un échantillon sable.

- **Domaine d'application :**

Cette méthode prescrit une technique de séparation des tranches granulométrie d'un vibreur magnétique.

- **Appareillage :**
  - Balance de précision a (1/10) mg
  - Série de tamis DIN 4188 (tamis GF).
  - Vibreur magnétique.

- **Mode opératoire :**

- L'analyse granulométrique est normalement faite sur un échantillon débarrassé de ses élément de moins de 20 micromètres et séché à 105°C jusqu'à masse constante.
- S'assurer que la série de tamis soit complète que les toiles soient parfaitement propres et en bon état.
- Emboiter les tamis les uns dans les autres dans l'ordre croissant des ouvertures de mailles, verser l'échantillon sur le tamis supérieur.
- Fixer la série de tamis sur le secoueur.
- Secouer pendant une tempe constante, choisi en fonction du type de secoueur (10 min .étant considéré comme un minimum). Une minuterie peut utilement être adjointe au secoueur.
- L'opération terminée, recueillir séparément les refus ; brosse la toile avec précaution au moyen de la brosse appropriée appliquée normalement à sa surface, afin de récupérer le grain retenus dans les mailles. Effectuer cette opération sur les deux faces de la toile.
- Peser au cg prés chaque refus. En noter la masse en regard du numéro du tamis correspondant.
- La somme des refus doit correspondre à la masse de sable initiale, avec une tolérance de ±0.2%. L'écart conforme à cette tolérance est report sur tamis le plus chargé (ou par moitié sur chacun des tamis les plus charges si ceux-ci accusent des refus égaux à 10 % prés).

Calcule chaque refus en pourcentage de la masse utilisée avant élimination des éléments de moins de 20 micromètres (chaque refus est automatiquement exprime en pourcent si l'échantillon était de 100 g).

II.1.1.5.1. Détermination de la fraction basique :

La fraction basique du sable est la somme maximale des résidus dans trois tamis voisins.

II.1.1.5.2 Détermination de la catégorie :

-La catégorie est liée par la quantité de sable se trouvant dans les deux tamis extrêmes de la fraction basique F_B, dans ces conditions :

Le sable est de catégorie A, si la plus grande quantité de sable est située dans le tamis supérieur de la fraction basique F_B.

Le sable est de catégorie B, si la plus grande quantité de sable est située dans le tamis inferieur de la fraction basique F_B.

II.1.1.5.3 Détermination du groupe de sable neuf :

Le groupe du sable est déterminé d'après le numéro du tamis moyen de la fraction basique. En fonction de la grosseur des grains de la fraction basique, les sables sont divisés en 8 groupes universels représentés dans le tableau suivant :

Tableau6: Groupes de sable.

Numéro des tamis de la fraction basique	Indication du groupe	Dénomination du groupe du sable
0.710-0.5-0.335	0.5	Gros
0.5-0.335-0.250	0.335	Très grand
0.355-0.250-0.2	0.250	Grand
0.250-0.2-0.180	0.2	Moyen
0.2-0.180-0.125	0.180	Fin
0.180-0.125-0.09	0.125	Très fin
0.125-0.09-0.063	0.09	Mince
0.09-0.063-Fond	0.063	Poussiéreux

II.1.1.5.4. Détermination de la structure granulaire :

Si la quantité de sable se trouvent dans les 03 tamis voisins est supérieure à 70%, on dit que le sable à une structure granulaire concentrée**,** si cette quantité est entre 60% 70%, on dit que la structure est étalée. Si cette quantité est inférieure à 60%, On dit que le sable à une structure très étalée er dispersée**.**

II.1.1.5.5. Détermination de l'indice de finesse (AFS) :

C'est un chiffre conventionnel qui a cependant l'avantage d'indique numériquement la prédominance des grains les plus nombreux d'un sable étudié.

L'indice de chiffre conventionnel est calculé selon la formule suivante :

$$AFS = \sum a_i + r_i / \sum r_i$$

r_i : le résidu du sable dans chaque tamis

a_i : le coefficient multiplicateur pour chaque tamis.

II.1.1.5.6. Calcul de diamètre moyen des grains et le degré d'uniformité :

Le diamètre moyen des grains de sable dm, et le degré d'uniformité ou régularité du sable C sont déterminés par la courbe granulométrique des valeurs cumulées, cette courbe est réalisée suivant les coordonnées :

- Axe des abscisses le logarithme décimal de l'ouverture des mailles des tamis.
- Axe des ordonnées le pourcentage de sable qui passe à travers le tamis considéré (C'est-à-dire se trouve dans les tamis inferieures du tamis considéré).

➢ **Déterminé le diamètre moyen :**

Pour obtenir le diamètre moyen des grains de sable qui par définition est le tamis fictif retenant 50% de masse de sable.

On trace la ligne horizontale du pourcentage 50% sur l'axe d'ordonnées jusqu'à intersection avec la courbe granulométrique cumulative de refus, on baisse en ligne perpendiculaire jusqu'à l'axe des abscisses et on note le point dm correspondant au diamètre moyen.

➢ **Degré d'uniformité :**

Pour la détermination du degré de régularité on calcule d'abord 2/3 dm et 3/4dm. Puis on détermine log 2/3dm et log 3/4dm on établit ces point sur l'axe des abscisses, on rétablit deux perpendiculaires jusqu'à la courbe et puis on trace 2 lignes horizontale jusqu'à l'axe d'ordonnées, on obtient 2points A et B et on calcule le degré de régularité DR%, Du

$$DR\,\% = B\% - A\%$$

A% =4/3×DM

B%=2/3×DM

II.1.1.6. Détermination de la morphologie des grains :

- **Principe :**

Ce type de contrôle est purement qualitatif, mais il peut caractériser la forme des grains et mettre en évidence par exemple une pollution du sable, une fragilisation des grains ou un empoussiérage trop important.

- **Matériel :**

- Microscope optique de grossissement compris entre 15 et 50.
- Lampe.
- Support.



Figure 22 : Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude.

- **Méthode d'examen :**

1) Etaler quelques centaines de grains de sable sur le support de façon à former une couche de sable très étalée. Dans l'oculaire il faut voir entre 50 et 300 grains de sable.

2) Eclairer le support et régler le microscope optique pour avoir une image nette et contrastée.

3) Contrôler et relever les éléments suivants :

- Forme des grains de sable (grain fracturés, grains allongés ou sphériques, arêtes vives ou érodées…) ;
- L'étalement granulométrique et la qualité des fines de sable ;
- La couleur des grains et les gangues éventuelles ;

- La présence d'agrégats et d'impuretés notamment les grains de carbonate (on peut déplacer le support sous l'objectif pour faciliter la recherche).

4) Eventuellement classer la forme des grains suivant la figure II.2 (forme des grains (sable de la fonderie de la BERROUGHIA).

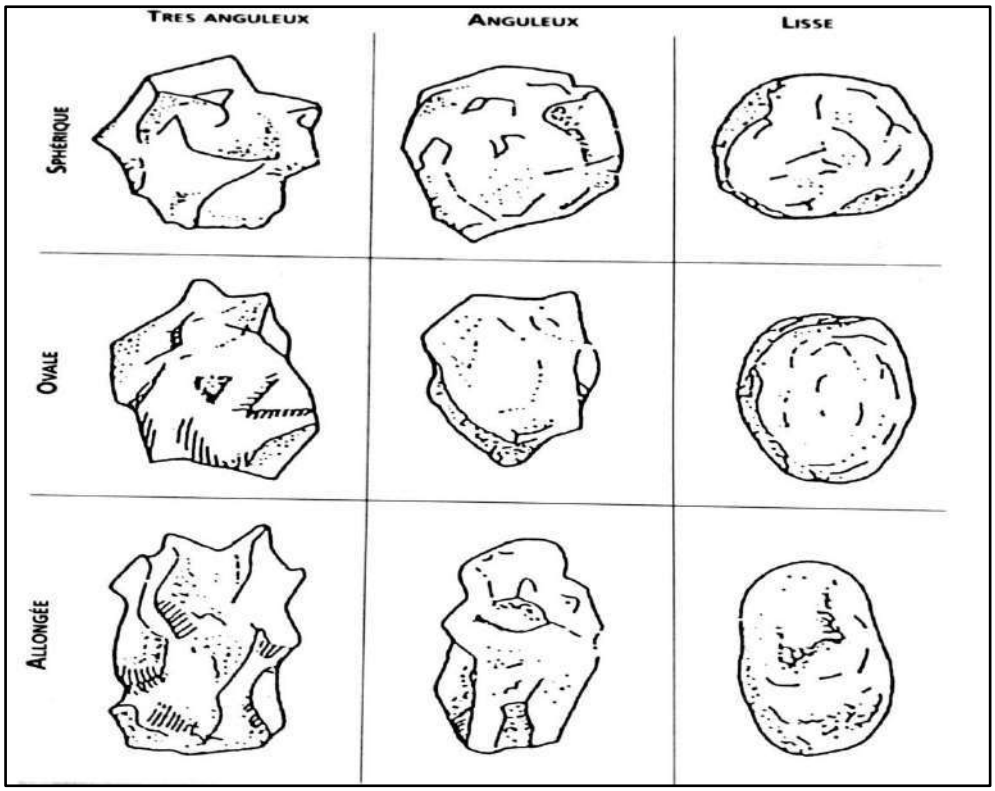


Figure 23 : Forme des grains (sable de la fonderie de la berrouaghia).

La forme des grains rencontrée dans les carrières est généralement entre ronde et angulaire. La forme des grains a une grande importance sur le comportement du sable lors de la coulée (dilatation plus importante des graines).

La surface des grains doit être lisse, vitreuse, et rugueuse. Des surfaces fortement crevassées ont pour conséquence une surconsommation du liant, en réduisant, en même temps les propriétés du sable.

II.2. Contrôle de sable de moulage :

II.2.1. Contrôle de l'humidité :

- **Matériel :**

- Balance électronique ;
- Capsule ;
- Chauffage (sécheur) ;
- Dessiccateur.

- **Mode opératoire :**

- Peser la capsule vide.
- Peser m=10g de sable de moulage (sable noir) par balance électronique.
- Séchage dans chauffage (sécheur) pendant 15 minutes.
- Laisser le sable refroidirai dans le dessiccateur pendant 5 min.
- Peser la masse finale de sable après séchage, noter la valeur.

- **Expression de calcul :**

$$H\% = (m_i - m_f) \times 100$$

m_i: la masse initial de sable avant le séchage.

m_f: la masse finale de sable après le séchage.

II.2.2. Détermination du taux de la bentonite : [12]

- **Matériel :**

- Balance électronique ;
- Plaque chauffante ;
- Dessiccateur ;
- Burette ;
- Fiole de 250 ml ;
- Papier filtre.

- **Matière :**

- Sable noir (sable de moulage).
- L'eau distillée.
- Acide sulfurique (H_2SO_4) (0.5N).
- Bleu de méthylène.

- **Mode opératoire :**

- Peser m=5g (sable noir), ajouter 50ml de l'eau distillé.
- Chauffer (10min).
- Laisser refroidir quelque minute.
- Ajouter 2 ml acide H2SO4 (0.5N).
- Agiter une minute.
- Verser la solution de bleu de méthylène, agiter
- Prélever une goutte de solution et se déposer sur un papier filtre.
- Si la tâche est bleu sombre ; on continu l'addition de méthylène, jusqu'à L'apparition d'un halo autour de la tâche, sécher le papier filtre.
- Noter le volume et le rapporter sur la courbe d'étalonnage.
- Abaisser la perpendiculaire.
- Soit x la valeur obtenue, elle correspond au % de bentonite dans le sable noir.

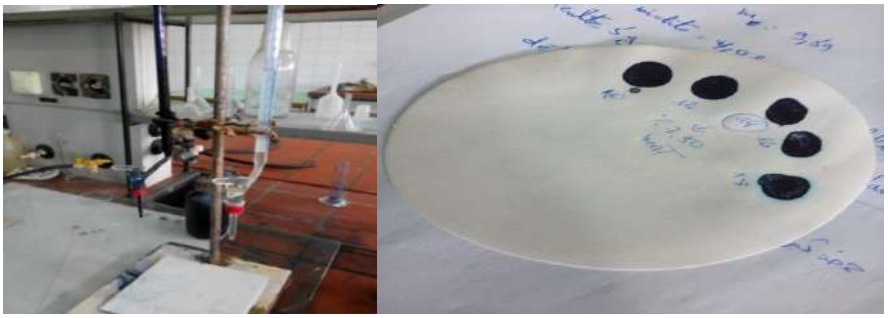


Figure 24 : Détermination du taux de la Bentonite.

II.2.3. Détermination de la matière en suspension du sable de moulage : [13]

- **Matériel :**

- Agitateur magnétique ;
- Plaque chauffante ;
- Balance ;
- Dessiccateur ;
- Four à moufle.

- **Mode opératoire :**

- Sécher l'échantillon de sable pendant (10min).
- Refroidir dans le dessiccateur (5 -10min).
- Peser m=20g de sable.
- Ajouter 10ml tetrasodiumdiphosphat.

- Ajouter100ml l'eau distillé, chauffer (10min).
- Ajouter l'eau distillée jusqu'à 400 ml.
- Mettre dans l'agitateur magnétique.
- Ajouter l'eau de robinet jusqu'à 600ml, laisser reposer (30min).
- Procéder au siphonage successive –remplissage d'eau, jusqu'à ce que le liquide surnageant devienne clair.
- Filtrer avec du papier filtre moyen.
- Mettre dans un creuset en céramique sécher puis calciner dans four à moufle de température 1050°C pendant 2 heures.
- Refroidir dans le dessiccateur.
- Peser et noter la masse m'du résidu.

II.2.4. Détermination de la Perte au feu : [14]

- **Matériel :**

- Balance électronique.
- Dessiccateur.
- Creuset en céramique.
- Four à moufle.

- **Mode opératoire :**

- Sécher l'échantillon de sable pendant (10 min).
- Refroidir dans le dessiccateur (5 -10 min).
- Peser m=5g de sable.
- Mettre dans un creuset en céramique puis calciner. Dans four à moufle de température 1050°C pendant 2 heures.
- Refroidir dans le dessiccateur.
- Peser et noter la masse m'du sable calciné.

II.2.5. Détermination des caractéristiques mécaniques :

II.2.5.1. Confection d'une éprouvette en sable silico-argileux : [15]

a) Objectif :

Cette Recommandation Technique a pour objet de définir le mode opératoire de confection des éprouvettes.

Le domaine d'application est limité aux sables silico-argileux utilisés en fonderie comme sable de moulage.

Le suivi de l'évolution permet d'apprécier les variations du taux d'argile morte dans le sable.

b) Principe :

Les éprouvettes destinées à la détermination des différentes caractéristiques du sable préparé, doivent répondre à des exigences de dimensions et de serrage bien définies. Leur façonnage est réalisé au moyen d'un tube et d'un fouloir.

Elles sont de forme cylindrique pour les essais sur les sables silico-argileux.

Deux standards d'éprouvettes sont couramment utilisés, le standard européen ou « GF » et le standard américain ou « DIETERT ».

Selon ces deux standards, les éprouvettes, les tubes à éprouvettes et les fouloirs (ou damoirs) sont légèrement différents (voir tableau 1 ci-après). Cependant, il est important de ne pas mélanger ces deux standards : il ne faut pas, par exemple, confectionner une éprouvette au standard américain avec un fouloir au standard européen. De plus, les machines d'essais
spécifiques aux essais de sables sont prévues pour travailler selon l'un ou l'autre des standards. Là encore, il ne faut pas, par exemple, déterminer une résistance à la compression
avec un matériel DIETERT sur une éprouvette au standard européen.

Tableau 7. Caractéristiques des éprouvettes :

CARACTERISTIQUES	STANDARD EUROPEEN	STANDARD AMERICAIN
Diamètre de l'éprouvette en mm	50,0	50,8
Hauteur de l'éprouvette en mm	50,0	50,8
Tolérance sur la hauteur de l'éprouvette en mm	± 0,3	± 0,3
Hauteur du tube pour éprouvette en mm	100	120,8
Tolérance sur le diamètre du tube en mm	0,1	0,1
Masse mobile du fouloir en g Hauteur de chute en mm Energie de serrage pour 3 coups de fouloir Charge de serrage au fouloir pneumatique	6666 50,0 9,81 J 1960 N	6350 50,8 9,49 J 1960 N

c) Matériel :

- Balance de laboratoire. Les pesées se feront au gramme près.
- Fouloir pneumatique ou manuel. Il doit être installé sur une embase rigide et fixe, éloignée des sources de vibration (voir photos en annexe).
- Récipient étanche.
- Tamis d'une ouverture de maille comprise entre 3 et 5 mm.
- Tube pour éprouvette, ayant une paroi intérieure polie (autres caractéristiques définies dans le tableau 1). On peut contrôler la rugosité par référence à un tube neuf.
Les différences en résistance à la compression doivent être inférieures à 5 %.
- Bloc démouleur.

d) Mode Opératoire :

- Tamiser le sable à l'aide du tamis défini au chapitre 4 et recueillir le sable dans un récipient étanche.
- Peser la quantité de sable nécessaire pour que l'éprouvette serrée soit conforme à la hauteur prescrite. Cette quantité est déterminée à ! 1 g près par tâtonnement. En général, elle est comprise entre 145 et 170 g. Cette quantité varie en fonction de la nature du sable et de sa teneur en eau.
- Noter la masse de l'éprouvette.
- Introduire le sable dans le tube à éprouvette placé sur son socle; en s'aidant éventuellement d'un entonnoir adapté. Il faut éviter de tasser le sable.
- Disposer l'ensemble bien verticalement sous la tête du fouloir.
- Amener doucement la tête de serrage au contact du sable et, simultanément, faire tourner

le tube d'un quart de tour pour égaliser le sable.

- Procéder au serrage par trois coups de fouloir ou équivalent. Observer un temps d'attente de 1 seconde entre chaque coup.
- Vérifier, grâce aux repères portés sur l'appareil que la hauteur de l'éprouvette, après serrage, est dans les limites de tolérances. Dans le cas contraire, ré-confectionner une éprouvette avec une masse de sable plus faible ou plus élevée suivant le cas.

***Note* :** Pour diminuer les incertitudes sur les mesures, il est conseillé d'ajuster la masse de sable pour que la hauteur nominale de l'éprouvette corresponde au repère médian.

- Tourner légèrement le tube pour décoller le sable de la tête du fouloir tout en relevant le dispositif de serrage.
- Extraire l'éprouvette au moyen du bloc démouleur approprié, en évitant tout post-serrage.

e) Expression des Résultats :

La masse de l'éprouvette sera exprimée en grammes sans décimale.



Figure 25 : Schéma de Fouloir.

II.2.6 Détermination de la perméabilité d'un sable silico-argileux : [16]

a) OBJET :

détermination de la perméabilité d'un sable silico-argileux utilisé à vert.

Elle s'applique aux essais utilisant un perméamétrie du type à cloche (voir photos).

La perméabilité est l'aptitude que possède le sable serré à se laisser traverser par les gaz.

b) PRINCIPE :

La perméabilité est déterminée par le temps mis par un certain volume d'air, sous une certaine pression pour traverser une éprouvette cylindrique de sable aux dimensions fixées :

- h = 50 mm ; = 50 mm (pour une éprouvette au standard européen),
- h = 50,8 mm ;! = 50,8 mm (pour une éprouvette au standard américain).

La perméabilité est définie par la loi de Darcy qui décrit l'écoulement de l'air dans un milieu poreux, homogène et isotrope en régime laminaire, par la relation :

$$\mu = \frac{V.h}{p.a.t}. n$$

μ = Perméabilité du sable;

V = Volume d'air écoulé;

h = Hauteur de l'éprouvette en sable;

p = Pression d'air;

a = Section de l'éprouvette;

t = Temps de passage de l'air;

n = Viscosité de l'air (n= 1,8.10^{-5} Pa.s pour l'air à 23 °C).

c) MATERIEL :

Il existe principalement deux types de perméamétries :

- Les perméamétries (type chronomètre) mesurant le temps de passage d'un volume d'air fixé. L'indice de perméabilité est inversement proportionnel à ce temps.
- Les perméamétries (type manomètre) mesurant la pression d'air à débit d'air constant (V/t = constante). Le débit d'air est maintenu constant grâce à des buses. L'indice de perméabilité est dans ce cas inversement proportionnel à la pression lue.

Suivant le type de perméamétrie, les résultats peuvent être significativement différents.

Dans les deux cas, les perméamétries sont souvent gradués directement en indice de perméabilité calculé à partir de :

- Temps de passage de l'air en minutes;
- Volume d'air écoulé en cm^3;
- Pression d'air en cm de colonne d'eau;
- Hauteur de l'éprouvette en sable en cm;
- Section de l'éprouvette en cm^2;

et en considérant la viscosité de l'air comme constante.

En unité officielle (le Darcy) la perméabilité (à 23 °C) s'exprime par la relation suivante : ∞ = 3 06 10 ,IP(Darcy) -13

où IP est l'indice de perméabilité lue sur les perméamétries spécifiques.

- Tube à éprouvette correspondant au perméamétrie utilisé ;
- Fouloir permettant l'obtention d'une éprouvette soit au standard américain, soit au standard européen suivant le perméamétrie utilisé.

d) MODE OPERATOIRE :

Se mettre dans la position correspondant à la libre communication avec l'atmosphère.

Soulever la cloche à air pour la remplir.

Maintenir la cloche et couper la libre communication avec l'atmosphère (position fermée ou arrêt). Relâcher doucement la cloche.

Choisir l'échelle de mesure correspondant à la perméabilité attendue du matériau. Remettre l'aiguille à zéro le cas échéant.

Placer le tube contenant l'éprouvette, elle doit être élaborée suivant les prescriptions de la Recommandation Technique du B.N.I.F. n° 431.

Se placer en position « mesure ».

Sur les perméamétries, type « manomètre » la mesure se fait immédiatement après stabilisation de l'aiguille.

Sur les perméamétries type « chronomètre », il faut attendre la fin de l'écoulement du volume d'air défini pour l'échelle choisie. Un système de contacteur permet d'arrêter le défilement du chronomètre.

Noter la valeur indiquée par l'appareil.

Placer le robinet en position « fermé » et retirer le tube à éprouvette.

Placer l'appareil en position correspondant à la libre communication avec l'atmosphère.

Remettre à zéro l'aiguille du chronomètre (le cas échéant).

Répéter l'essai deux fois. Si les valeurs obtenues diffèrent de plus de 10 %, effectuer un troisième essai.

Nota : Avec les perméamétries types « manomètre », il faut suivre les indications du manomètre pendant la mesure (absence d'index).

e) EXPRESSION DES RESULTATS:

e.1 Calcul du résultat:

Le résultat de mesure sera la moyenne des valeurs obtenues au cours des 2 ou 3 essais.

Il sera exprimé en indice de perméabilité sans décimale ou en Darcy avec 3 chiffres significatifs.



Figure 26 : Schéma d'une perméamétrie.

II.2.7 Détermination de la résistance à la compression d'un sable silico-argileux: [17]

a) OBJET :

La mesure de résistance à la compression permet d'apprécier la cohésion des sables démoulages silico-argileux utilisés à vert.

b) PRINCIPE :

Une charge croissante est appliquée sur les faces planes d'une éprouvette cylindrique en sable serré. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section de l'éprouvette.

Les éprouvettes utilisées sont soit au format européen (diamètre et hauteur : 50 mm).

c) MODE OPERATOIRE :

- Réaliser une éprouvette en sable silico-argileux (diamètre et hauteur : 50 mm).
-Placer cette éprouvette entre les mors de compression (voir photo n°……..).
- Mettre en route la machine d'essai.
- Après rupture, noter la valeur obtenue.
- Effectuer trois essais, selon ce processus. Si les valeurs individuelles diffèrent de plus de ± 5 % par rapport à la moyenne arithmétique, il faut réaliser deux autres essais et calculer la moyenne de ces cinq essais.
- L'essai de résistance à la compression doit avoir lieu immédiatement après confection de l'éprouvette.
- Les machines d'essais spécifiques aux sables de fonderie sont graduées directement en contrainte.

d) EXPRESSION DES RESULTATS:

d.1 Calcul du résultat :

La résistance à la compression correspond à la moyenne arithmétique des 3 ou 5 essais réalisés.

Elle est exprimée en kPa et arrondie à l'unité.

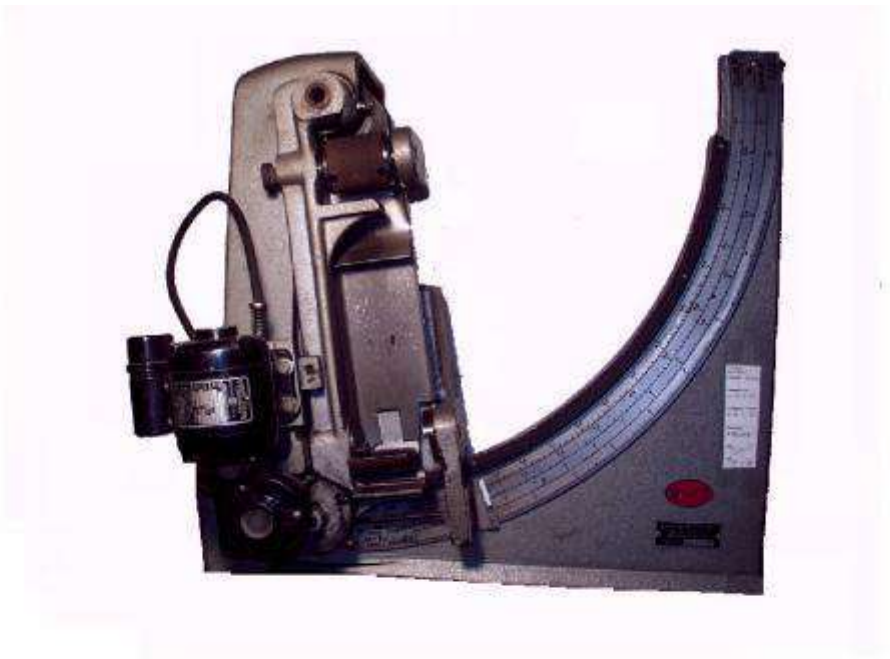


PHOTO n° 1 :MACHINE UNIVERSELLE DIETERT TYPE 400-1



PHOTO n°2 : POSITIONNEMENT DE L'EPROUVETTE ENTRE LES MORS DE COMPRESSION

Figure 27 : Machine universelle de résistance à la compression.

II.2.8 Détermination de la résistance au cisaillement d'un sable silico-argileux: [18]

a) OBJET :

La mesure de résistance au cisaillement permet d'apprécier la résistance des moules vis-à-vis des efforts tranchants. Elle est généralement comprise entre le tiers et le quart de la résistance à la compression.

b) PRINCIPE :

Une charge croissante est appliquée sur les ½ faces planes diamétralement opposées d'une éprouvette cylindrique en sable serré. La résistance au cisaillement est le rapport entre la charge et la section de rupture (hauteur x diamètre) de l'éprouvette.

Les éprouvettes utilisées sont soit au format européen (diamètre et hauteur : 50 mm).

c) MODE OPERATOIRE :

- Réaliser une éprouvette en sable silico-argileux (diamètre et hauteur : 50 mm).
-Placer cette éprouvette entre les mors de cisaillement (voir photo n°2 en annexe).
- Mettre en route la machine d'essai.
- Après rupture, noter la valeur obtenue.
- Effectuer trois essais, selon ce processus. Si les valeurs individuelles diffèrent de plus de ± 5 % par rapport à la moyenne arithmétique, il faut réaliser deux autres essais et calculer la moyenne de ces cinq essais.
- L'essai de résistance au cisaillement doit avoir lieu immédiatement après confection de l'éprouvette.
- Les machines d'essais spécifiques aux sables de fonderie sont graduées directement en contrainte.

d) EXPRESSION DES RESULTATS :

d.1 Calcul du résultat :

La résistance au cisaillement correspond à la moyenne arithmétique des 3 ou 5 essais réalisés. Elle est exprimée en kPa arrondie à l'unité.



PHOTO n°1 : MACHINE UNIVERSELLE DIETERT TYPE 400-1

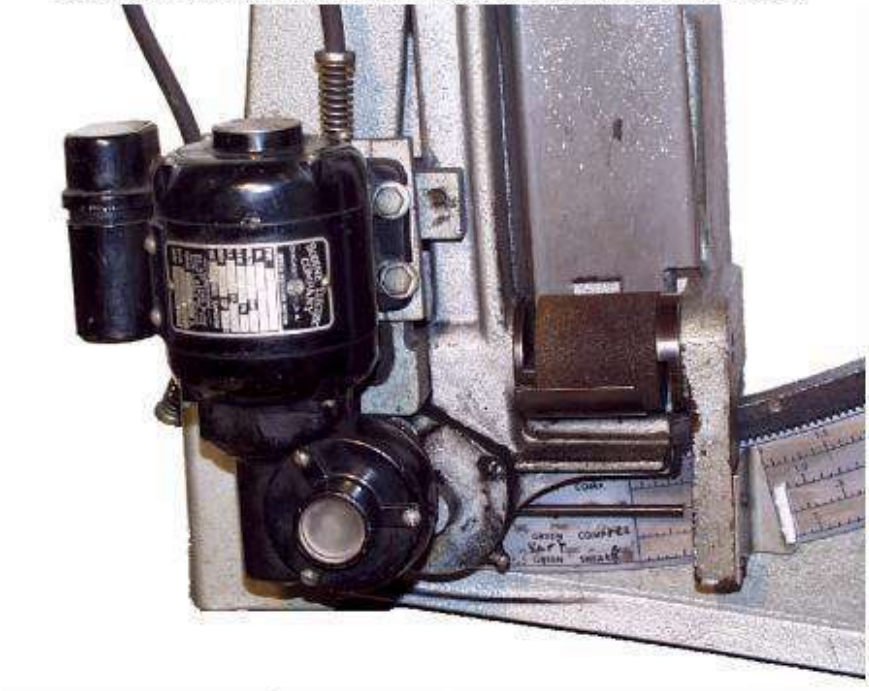


PHOTO n°2 : POSITIONNEMENT DE L'EPROUVETTE ENTRE LES MORS DE CISAILLEMENT

Figure 28 : Machine universelle de résistance au cisaillement.

II.2.9 Détermination de la compressibilité d'un sable silico-argileux : [19]

a) Objet :

Cet essai est utile pour régler la teneur en eau d'un sable de moulage, pour évaluer la teneur en argile active, et pour adapter les caractéristiques de serrage du sable au chantier de moulage.

b) Principe :

Le serrage d'un sable silico-argileux par une force donnée entraîne une diminution de hauteur. La compressibilité correspond à cette diminution de hauteur exprimée en pour-cent.

Elle est effectuée sur un tube à éprouvette de 100 mm de hauteur, rempli de sable non serré.

Celui-ci est soumis à une force de 1960 N, ce qui engendre sur l'éprouvette en sable au standard européen une contrainte de compression de 1 MPA (ou 100 N/cm2).

Notes : En première approximation, on peut considérer que la compressibilité varie linéairement avec la teneur en eau, pour un mélange donné.

Les valeurs de compressibilité obtenues à la sortie du malaxeur sont plus élevées que celles obtenues en laboratoire, même 1 heure après. Ceci est dû à l'absorption d'eau par la bentonite qui se continue après le malaxage et pendant une durée d'une heure environ.

c) Mode Opératoire :

- Remplir de sable le tube à éprouvette, à l'aide de l'entonnoir de remplissage défini au chapitre 4 (voir schéma 1 en annexe).
- Retirer l'entonnoir et le tamis, puis araser le tube avec le racloir en tenant ce dernier à 45° par rapport au plan horizontal (voir schéma 2 en annexe).
- Placer l'éprouvette remplie sous la tête de serrage de la presse ou du fouloir.
- Appliquer une force de 1960 N, ou effectuer trois coups de fouloir (voir schéma 3 en annexe).
- Relever la diminution de hauteur exprimée en pour-cent. Si l'équipement de mesure n'est pas gradué, démouler l'éprouvette, mesurer sa hauteur et en déduire l'enfoncement.

d) Calcul du résultat :

La compressibilité AS(%) sera exprimée sans décimale.

La compressibilité exprimée en pour-cent est égale à :

AS(%) =100 - k . He

où He : est la hauteur de l'éprouvette.

K : est le facteur égal à 1,00 pour le standard européen et 1,03 pour le standard américain.



Figure 29 : Machine et éprouvette de compressibilité.

II.9.2.1 Mesure De L'aptitude Au Serrage du Sable De Fonderie :

L'examen de comportement des sables de moulage lors du serrage des moules, en fonction de leur degré d'humidification et des conditions de serrage, ont conduit à établir une nouvelle méthode de détermination de la teneur en eau des sables de fonderie.

De nombreuses expériences concernant l'aptitude au serrage ont montré que cette caractéristique était, pour un sable de circuit dont les constituants ne subissent pas de variations importantes, fortement influencée par le taux d'humidité.

Le degré d'humidification d'un sable par l'essai manuel et prouvent qu'il est possible de déterminer et de reproduire un état d'aptitude au moulage servant de base de comparaison.

Cependant, l'expérience montre également que le contrôle à la main est quelque subjectif et qu'il n'est manifestement manié avec maitrise que pour un petit nombre de praticiens de la fonderie. C'est pourquoi, l'essai d'aptitude au serrage a été défini comme suit : Le sable à essayer, est introduit en vrac et toujours dans les mêmes conditions dans un tube d'essai d'un diamètre de 50 mm et d'une hauteur de 100 mm.

Le sable est arasé puis comprimé sous une pression bien définie, la diminution de hauteur de l'éprouvette, comptée en mm représente l'aptitude au serrage de de ce sable, si l'on opère saignement la dispersion des valeurs mesurées sur un même échantillon est inférieur de 1 mm.

Des essais ont été opérées avec différentes pressions pour des sables d'humidité Variable, les courbes obtenues sont représentées dans la figure 35 et expliquent le choix d'une pression normalisées de $10kg/cm^2$. On remarque en effet, qu'après une forte diminution de de la hauteur pour une pression comprise entre 0et 1 kg/cm^2, celle-ci tend à se stabiliser et varie alors très peu avec la pression diminuant ainsi les risques d'erreur.

Des mesures effectuées en laboratoire sur des sables différents et par nous-même sur le sable de fonderie, ont donné respectivement les courbes des figures 36 et 37. On remarque bien l'influence de la nature du sable sur la correspondance humidité aptitude au serrage, mais pour un sable donnée, cette mesure est très significative et reproductible.

Le fait aussi que le test d'aptitude au serrage soit relativement facile à automatiser de façon à fournir un capteur autonome nous a amené à le choisir afin d'indiquer l'humidité.

II.9.2.2 Appareil pour contrôler l'aptitude au serrage :

a) But d'utilisation :

Cet appareil sert à contrôler l'aptitude au serrage de sable de moulage, pour faire correspondre leurs caractéristiques à celles obtenues avec des types donnés de machines à mouler, ainsi qu'à déterminer le degré d'humidification.

b) Généralités :

Le principe de l'appareil PVG est basé sur les exigences détectées par la pratique quant aux caractéristiques des sables de moulage et qui varient en fonction de leur degré d'humidification.

Avec les machines à mouler modernes, la hauteur du sable visé en vrac est constante, le serrage du sable par une force donnée entraine une diminution de hauteur.

Le sable se comporte en principe de façon identique, indifféremment que l'on procède au serrage du sable, c'est-à-dire la diminution de hauteur en pourcent qu'il subit lors du serrage, est en fait sa propriété essentielle pour son comportement au moulage. C'est d'elle que dépend si l'énergie de serrage d'une machine à mouler est utilisée.

c) La mesure de l'aptitude au moulage et les propriétés de comportement au moulage des sables :

L'essai de l'aptitude au serrage permet de déterminer d'emblée la diminution de hauteur d'un sable sous l'effet du serrage, la certitude est ainsi donnée de pouvoir définir et ajuster le degré d'humidification d'un sable, ou la hauteur de celui-ci préalablement au serrage, pour un type donné de machine à mouler, il dépend immanquablement de cette condition que la force de serrage puisse être transmise intégralement sur le sable, la hauteur finale du sable et serrée doit découler de l'aptitude au serrage du sable et non pas de la course possible de serrage de la machine à mouler .

Pour cette raison, il est nécessaire, avec les machines modernes à mouler, de préparer fréquemment les sables à l'état plus sec que celui qui correspondrait à l'aptitude au moulage main, l'appareil pour contrôler l'aptitude au serrage type PVG assure une nouvelle possibilité de définir et maintenir constant le degré d'humidification, ceci indépendamment de teneur réelle en eau du sable.

Conjointement, la teneur en eau absolue d'un sable à une aptitude de serrage constante met en évidence des modifications de principe dans le système du sable, le diagramme 2 démontre l'aptitude de serrage d'un sable d'exploitation à des degrés d'humidification constitue le facteur d'influence décisif alors que celui relatif à la grandeur de la plupart du temps surestimé, pour cette raison , rien ne s'opposait à ce que l'on adopte pour cet appareil de laboratoire une force moyenne de pression de 10 Kg/cm^2 , laquelle n'accuse que des écarts minimes de valeurs de mesure tout en permettant de réaliser des conditions très proches de la pratique.

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1.Interprétation des résultats de contrôle de matières premières :

III.1.1 Analyse granulométrique de sable :

Tableau 8 : Analyse granulométrique du sable de chlef (traité).

N° Tamis	Refus (g)	Refus (%)	Refus Cumul	AFS(g)	AFS(%)
1,400	0,00	0,00	100,00	0	0
1,000	0,01	0,05	99,95	0,09	0,45
0,710	0,01	0,05	99,90	0,15	0,75
0,500	0,13	0,65	99,25	3,25	16,25
0,355	1,62	8,10	91,15	56,7	283,5
0,250	9,65	48,25	42,90	434,25	2171,25
0,200	5,50	27,50	15,40	286	1430
0,180	2,04	10,20	5,20	122,4	612
0,125	0,96	4,80	0,40	77,76	388,8
0,090	0,05	0,25	0,15	5,9	29,5
0,063	0,02	0,10	0,05	3,28	16,4
<0,063	0,01	0,05	0,00	2,75	13,75
	20,00	100,00		992,53	4962,65
AFS				**49,63**	**49,63**

Donc AFS = 49.63

III.1.1.1 Détermination De La Fraction Basique :

La fraction basique du sable est la somme maximale des résidus dans trois tamis voisin.

48.25

27.50

10.20

FB=48.25 + 27.50 + 10.20 = 85.95

FB= 85.95 %

III.1.1.2 Détermination De La catégorie :

Le sable est la **catégorie B**, le résidu du sable dans le tamis inferieur extrême de la fraction basique est plus grand par apport au résidu du sable dans le tamis supérieur extrême.

III.1.1.3 Détermination du groupe de sable :

Le groupe du sable est déterminé d'après le numéro du tamis moyen de la fraction basique. En fonction de la grosseur des grains de la fraction basique, les sables sont divisés en 8 groupes universels représentés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Les groupes de sable.

Numéro des tamis de la fraction basique	Indication du groupe	Dénomination du groupe du sable
0.710-0.5-0.335	0.5	Gros
0.5-0.335-0.250	0.335	Très grand
0.355-0.250-0.2	0.250	Grand
0.250-0.2-0.180	0.2	Moyen
0.2-0.180-0.125	0.180	Fin
0.180-0.125-0.09	0.125	Très fin
0.125-0.09-0.063	0.09	Mince
0.09-0.063-Fond	0.063	Poussiéreux

D'après le tableau, il s'agit du sable de groupe grand.

III.1.1.4 Détermination de la structure granulaire :

Si la quantité de sable se trouvent dans les 03 tamis voisins est supérieure à 70%, on dit que le sable à une structure granulaire concentrée**,** si cette quantité est entre 60% 70%, on dit que la structure est étalée. Si cette quantité est inférieure à 60%, On dit que le sable à une structure très étalée er dispersée.

La quantité du sable se trouvant dans les 03 tamis voisins :

$$\sum (48.25+27.50+ 10.20) =85.95\% \ >70\%$$

D'après la quantité du sable se trouvant dans les 03 tamis voisins, il dit que le sable à la structure granulaire concentrée.

III.1.1.5 Détermination de l'indice de finesse (AFS) :

C'est un chiffre conventionnel qui a cependant l'avantage d'indique numériquement la prédominance des grains les plus nombreux d'un sable étudié.

L'indice de chiffre conventionnel est calculé selon la formule suivante :

$$AFS = \sum a_i + r_i / \sum r_i$$

r_i: le résidu du sable dans chaque tamis

a_i : le coefficient multiplicateur pour chaque tamis

Donc AFS = 4963 / 100 = 49.63.

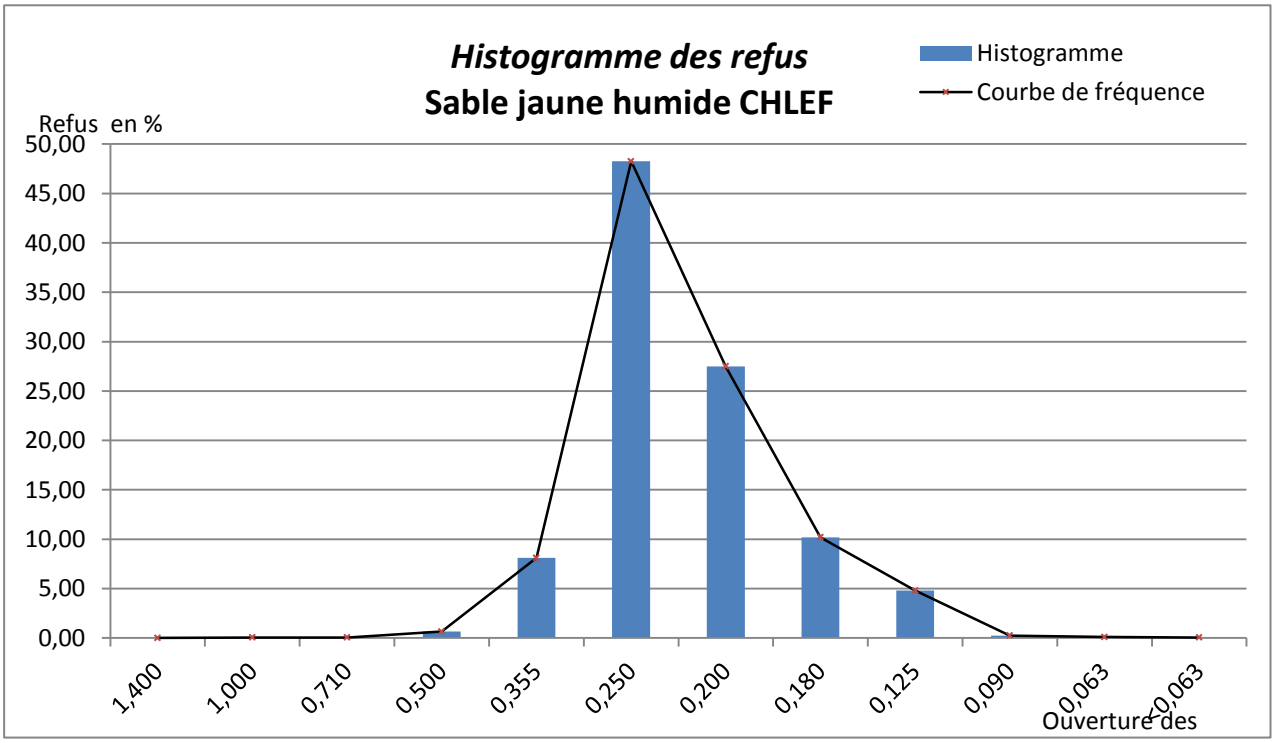


Figure 30 : Histogramme du sable jaune.

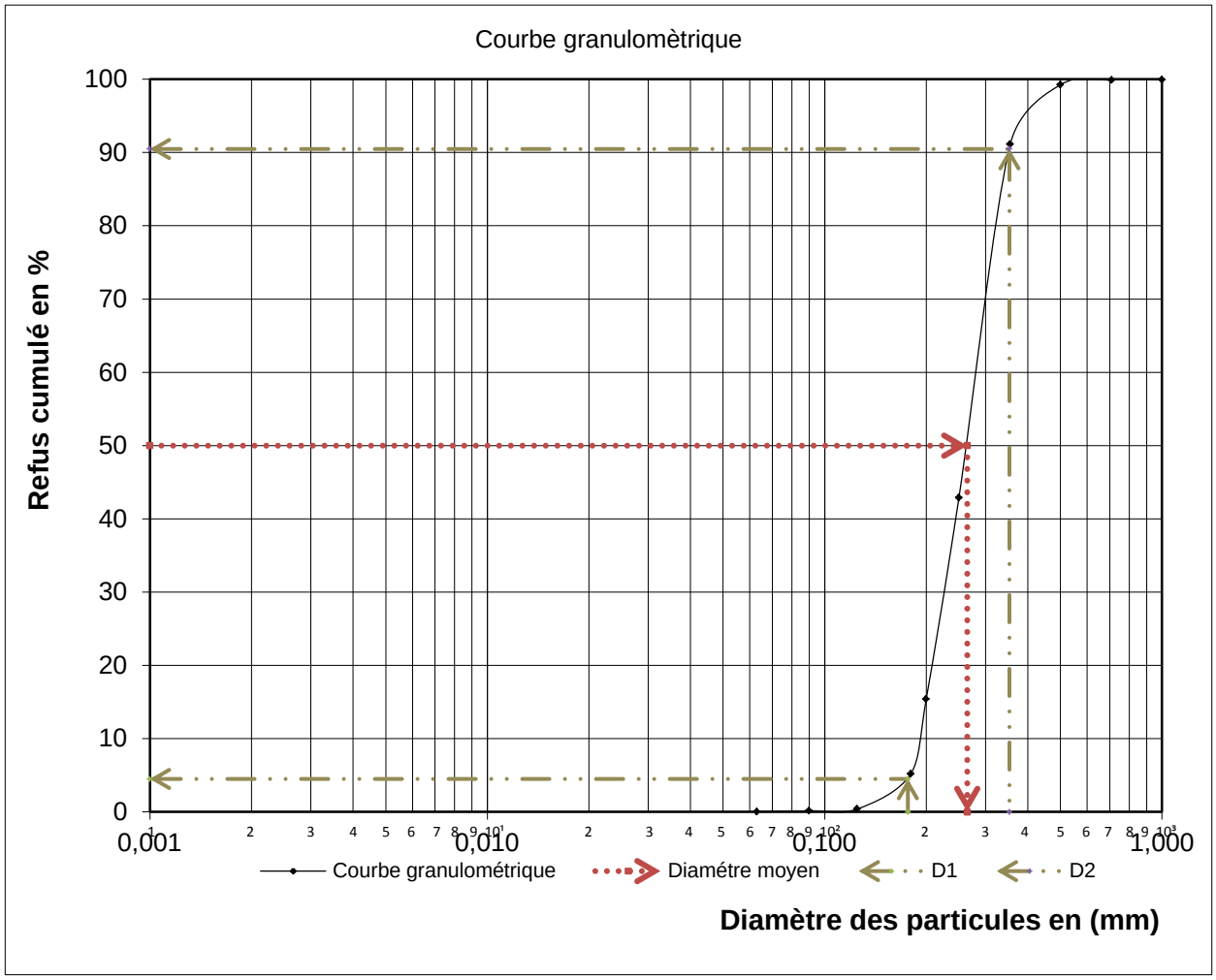


Figure 31 : Courbe d'analyse granulométrique.

III.1.1.6 Détermination du diamètre moyen du grain du sable :

Pour obtenir le diamètre moyen des grains de sable qui par définition est le tamis fictif retenant 50% de masse de sable.

On trace la ligne horizontale du pourcentage 50% sur l'axe d'ordonnées jusqu'à intersection avec la courbe granulométrique cumulative de refus, on baisse en ligne perpendiculaire jusqu'à l'axe des abscisses et on note le point dm correspondant au diamètre moyen.

Diamètre moyen (DM) = 0.265

III.1.1.7 Degré d'uniformité :

Pour la détermination du degré de régularité on calcule d'abord 2/3 dm et 3/4dm. Puis on détermine log 2/3dm et log 3/4dm on établit ces point sur l'axe des abscisses, on rétablit deux perpendiculaires jusqu'à la courbe et puis on trace 2 lignes horizontale jusqu'à l'axe d'ordonnées, on obtient 2points A et B et on calcule le degré de régularité DR%, Du

$$DR\ \% = B\% - A\%$$

A% =4/3×0.265= 0.35→90% (dans le courbe)

B%=2/3×0.265 = 0.18→05% (dans le courbe)

DR= 90-05=85%

Degré d'uniformité= 85 %

III.1.1.8 Détermination de la morphologie des grains :

a) Principe :

Ce type de contrôle est purement qualitatif, mais il peut caractériser la forme des grains et mettre en évidence par exemple une pollution du sable, une fragilisation des grains ou un empoussiérage trop important.

b) **Matériel :**

- Microscope optique de grossissement compris entre 15 et 50.
- Lampe.
- Support.



Figure 32 : Photographie d'un microscope optique utilisé au cours de la présente étude.

c)Méthode d'examen :

- Etaler quelques centaines de grains de sable sur le support de façon à former une couche de sable très étalée. Dans l'oculaire il faut voir entre 50 et 300 grains de sable.
- Eclairer le support et régler le microscope optique pour avoir une image nette et contrastée.
- Contrôler et relever les éléments suivants :
- Forme des grains de sable (grain fracturés, grains allongés ou sphériques, arêtes vives ou érodées…) ;
- L'étalement granulométrique et la qualité des fines de sable ;
- La couleur des grains et les gangues éventuelles ;
- La présence d'agrégats et d'impuretés notamment les grains de carbonate (on peut déplacer le support sous l'objectif pour faciliter la recherche).
- Eventuellement classer la forme des grains suivant la figure II.2 (forme des grains (sable de la fonderie de la BERROUGHIA).

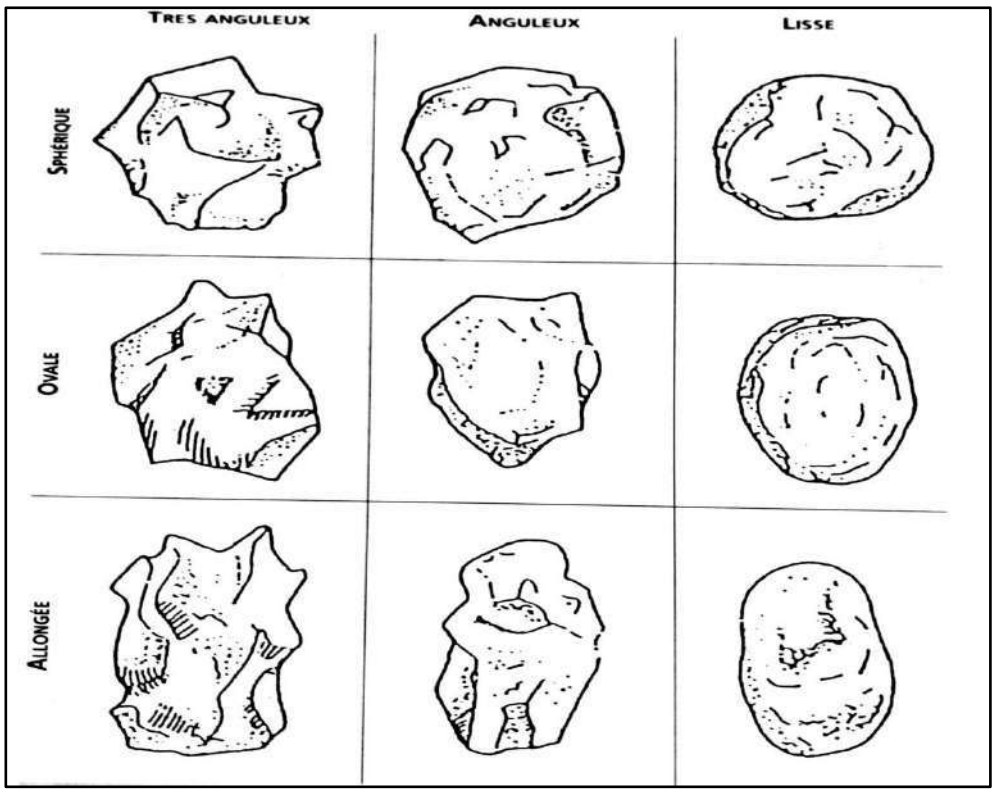


Figure 33: forme des grains (sable de la fonderie de la Berroughia).

Après contrôle par microscope optique, on a constaté que La forme des grains rencontrée dans les carrières est généralement entre ronde et angulaire. Ce qui est souhaitable pour application fonderie.

III.1.2 Contrôle de bentonite (origine Maghnia) :

III.1.2.1 Détermination du teneur en eau (Humidité) :

a) Matériel :

- Balance électronique ;
- Capsule ;
- Chauffage (sécheur) ;
- Dessiccateur.

b) Mode opératoire :

- Peser la capsule vide.
- Peser m=10g de bentonite par balance électronique.
- Séchage dans chauffage (sécheur) pendant 10-15 minutes.
- Laisser la bentonite refroidirai dans le dessiccateur pendant 5min.

- Peser bentonite après séchage, noter la valeur.

c) Expression de calcul :

$$H\% = (m_i - m_f) \times 100$$

$m_i =$ la masse de matière peser avant le séchage .

$m_f =$ la masse de matière peser après le séchage .

$$\%H_2O = 6.05$$

III.1.2.2 Détermination de perte au feu :

a) Matériel :

- Balance au dixième de mg.
- Four à moufle.
- Capsules en porcelaine d'une capacité d'environ $50cm^3$.
- Dessiccateur.
- Chauffage (sécheur).

b) Mode opératoire :

- Sécher l'échantillon de la bentonite pendant (10 min).
- Refroidir dans le dessiccateur (5 -10 min).
- Peser m=5g de bentonite.
- Mettre dans un creuset en céramique puis calciner. Dans four à moufle de température 1050°C pendant 2 heures.
- Refroidir dans le dessiccateur.
- Peser et noter la masse m'de la bentonite calciné.

c) Expression de calcul :

La perte au feu à 1050°C de la bentonite se calcule de la manière suivante

$$\%PF = [(m - m')/E] \times 100$$

m : la masse de la bentonite avant la calcination.

m': la masse de la bentonite calciné.

$$\%PF = 10.82.$$



Figure 34 : Four de traitement.

III.1.2.3 Détermination de l'aptitude au gonflement d'une bentonite :

a) Principe :

Appréciation du volume occupé par 2 grammes de bentonite introduits en petites fractions dans une éprouvette de 100 cm^3, remplie d'eau distillée ou dés ionisée.

Le volume estimé de 2 g de bentonite est de l'ordre de 2cm^3.

b) Matériel :

- Balance permettant de peser 2g de bentonite à ±0.1g.
- Eprouvette à pied de 100 cm^3, graduée en cm^3.
- Verre de montre, petite spatule.

c) Mode opératoire :

- Peser 2g de bentonite à ±0.1g dans verre de montre.
- Remplir l'éprouvette d'eau distillée, permutée ou dés ionisée jusqu'à la graduation correspondant à 100 cm^3.
- Saupoudrer par petites fractions la prise d'essai en laissant les particules descendre d'elles-mêmes, en attendant 2 à 4 minutes après chaque ajout. Le nombre de fraction doit être compris entre 10 et 20 et le temps total de manipulation ne doit pas excéder 1heure.
- Faire la lecture 24 heures après la fin de l'introduction de l'échantillon.
- Noter le volume en cm^3occupé par les 2 grammes de bentonite.

d) Expression des résultats :

- L'aptitude au gonflement est le rapport entre le volume occupé par la prise d'essai et sa masse en (cm^3/g), le résultat est arrondi à 0.5 cm^3/g.
- Le volume de gonflement est une mesure pour la capacité de gonflement des argiles liants est déterminé d'après l'équation suivante :

$$V = \frac{V' \times 100}{100 - C}$$

Tels que :

V: volume de gonflement calculé en rapport avec la matière (ml).

V′: volume de dépot (ml).

C: teneur d'humiditéde l'argile liant controlé en %.

gonflement : 20.23 ml.

III.1.2.4 Détermination de la réparation granulométrique (tamisage) de la bentonite:

- Peser 10g de bentonite.
- Tamisage pendant 15 min.
- Recueillir les refus de deux derniers tamis et les peser.
- Calculer les refus en pourcentage, et les refus cumulés.

Résultat :

N° de tamis (mm)	Refus (g)	Refus (%)
0.063	2.90	29
<0.063	7.10	71

Refus sur tamis 0.063 mm= 29%.

III.1.3 Contrôle de noir minéral :

III.1.3.1 Déterminer de teneur en eau :

a) Matériel :

- Balance précise au 0.0001 g.
- Etuve régulée à 105°C.
- Dessiccateur.
- Creuset.

b) Mode opératoire :

- Peser le creuset vide P1.
- Y mettre le produit (P2 = P1 + produit), mettre environ 3g pour le noir minéral.
- Placer le creuset dans une étuve régulée à 105 pendant 1h.
- Laisser refroidir en dessiccateur.
- Peser le creuset sec (P3).

c) Expression des résultats :

$$\text{Eau } \% = \frac{(P2 - P3)}{(P2 - P1)} \times 100$$

% eau =3.28.

III.1.3.2 Déterminer le teneur en cendres

a) Principe :

Définir le pourcentage de cendre d'un produit pulvérulent (noir minéral).

b) Matériel :

- Balance précise au 0.0001g.
- Four à moufle régulée à 900°C.
- Dessiccateur.
- Creuset en quartz.

c) Mode opératoire :

- Sécher le produit.
- Noter les valeurs de la teneur en eau (P1 et P3).
- Placer le creuset dans le four à moufle régulée à 900°C pendant 3 h.
- Laisser refroidir en dessiccateur.
- Peser le creuset (P4).

d) Expression des résultats :

$$\text{Cendre } \% = \frac{(\text{P4} - \text{P1})}{(\text{P3} - \text{P1})} \times 100$$

% Cendres =6.80

III.1.3.3 Déterminer le teneur en matière volatiles :

a) Matériel :

- Balance précise au 0.0001 g.
- Four à moufle régulée à 900°C.
- Dessiccateur.
- Creuset en quartz à couvercle rodé.

b) Mode opératoire :

- Sécher le creuset et couvercle.
- Peser l'ensemble creuset et couvercle (P1).
- Rajouter 1g à 0.0001 g près de noir non séché (P2).
- Mettre le couvercle.
- Placer le creuset dans le four à moufle pendant 7mn précise.
- Laisser refroidir en dessiccateur.
- Peser creuset + résidus + couvercle (P3).

c) Expression des résultats :

$$\text{Matières volatiles } \% = 100 - \frac{(\text{P3} - \text{P1})}{\text{P2}} \times 100 - \text{EAU}\%$$

% MV = 34.58.

III.1.4 Essai de l'aptitude au serrage (A. S.):

La sablerie permet de préparer environ 21000 kg de sable silico-argileux par heure, donner par ordre d'importance (en précisant les pourcentages) les différents composants de ce sable :

- Silice ≈ le reste soit 85 à 88 %
- Argile ≈ 7 à 9 %
- Eau ≈ 3.5 à 4.5 %
- Noir minéral ≈ 3.5 à4.5 %

Le contrôle effectué sur le sable en atelier est l'Aptitude au Serrage (A.S.).

Il permet, pour une composition donnée, de relier une caractéristique mécanique du sable à

son taux d'humidité.

Celui-ci consiste à prélever un échantillon représentatif du sable contenu dans le malaxeur et à le soumettre à l'action d'un damoir.

Principe simplifié du test : On effectue le calcul suivant : A.S. = 100 - hauteur lue.

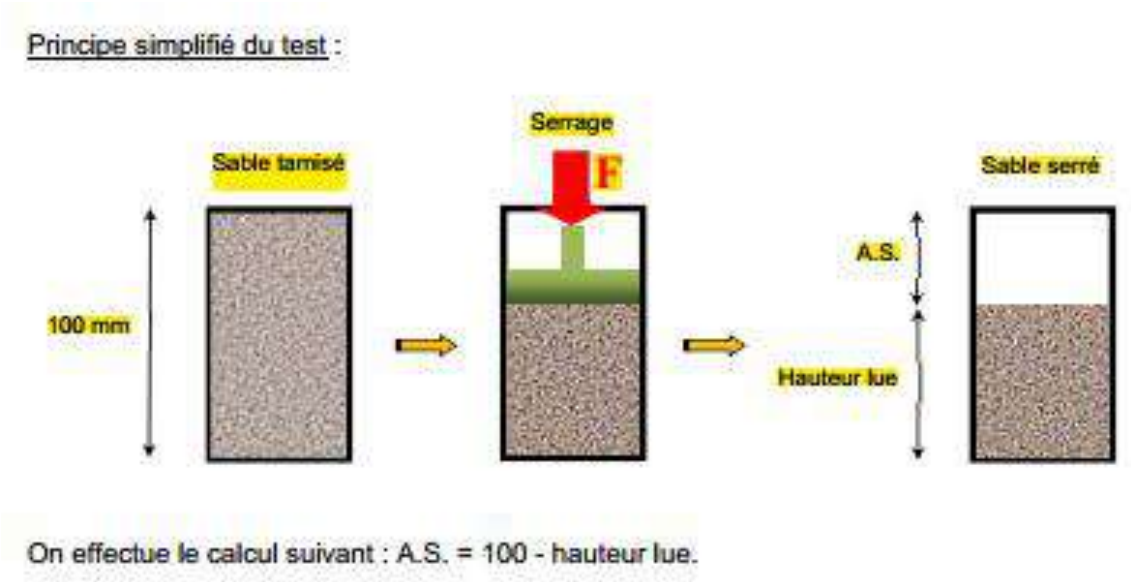


Figure 35 : Principe de l'essai.

Les opérations nécessaires pour déterminer l'A.S numéroté dans l'ordre suivant :

1-Prélever du sable dans le malaxeur.

2-Tamiser le sable.

3-Remplir le cylindre (hauteur = 100 mm).

4-Serrer le sable à l'aide du damoir.

5-Lire la hauteur de l'échantillon de sable.

6-Calculer l'A.S.

Ressources machine à mouler Air-Impact (objet 6/2) unité fonderie de Berrouaghia :

La machine fonctionne avec des châssis de dimensions (mm) : 600 x 700 H 250.

La vitesse de moulage correspond à une production nominale de 60 moules / heure.

La masse volumique du sable serré est estimée à 1,6 kg / dm3.

Pour la composition du sable utilisé, l'Aptitude au Serrage du sable envoyé dans la machine doit être comprise entre 32 et 40 (ces valeurs indicatives sont susceptibles d'être ajustées en fonction de la complexité des plaques modèles).

Donc :

- A.S. préconisée = $32 \leq AS \leq 40$.

La valeur moyenne :

- A.S .moyenne= (40+32) / 2 = 36.

En fonction de la valeur moyenne trouvée (36) , en utilisant l'abaque 1, on trouve normalement le pourcentage d'eau présente dans le sable.

- Eau contenue pour A.S .moyenne ≈ 3.9%.

Abaque 1 : Aptitude au Serrage :

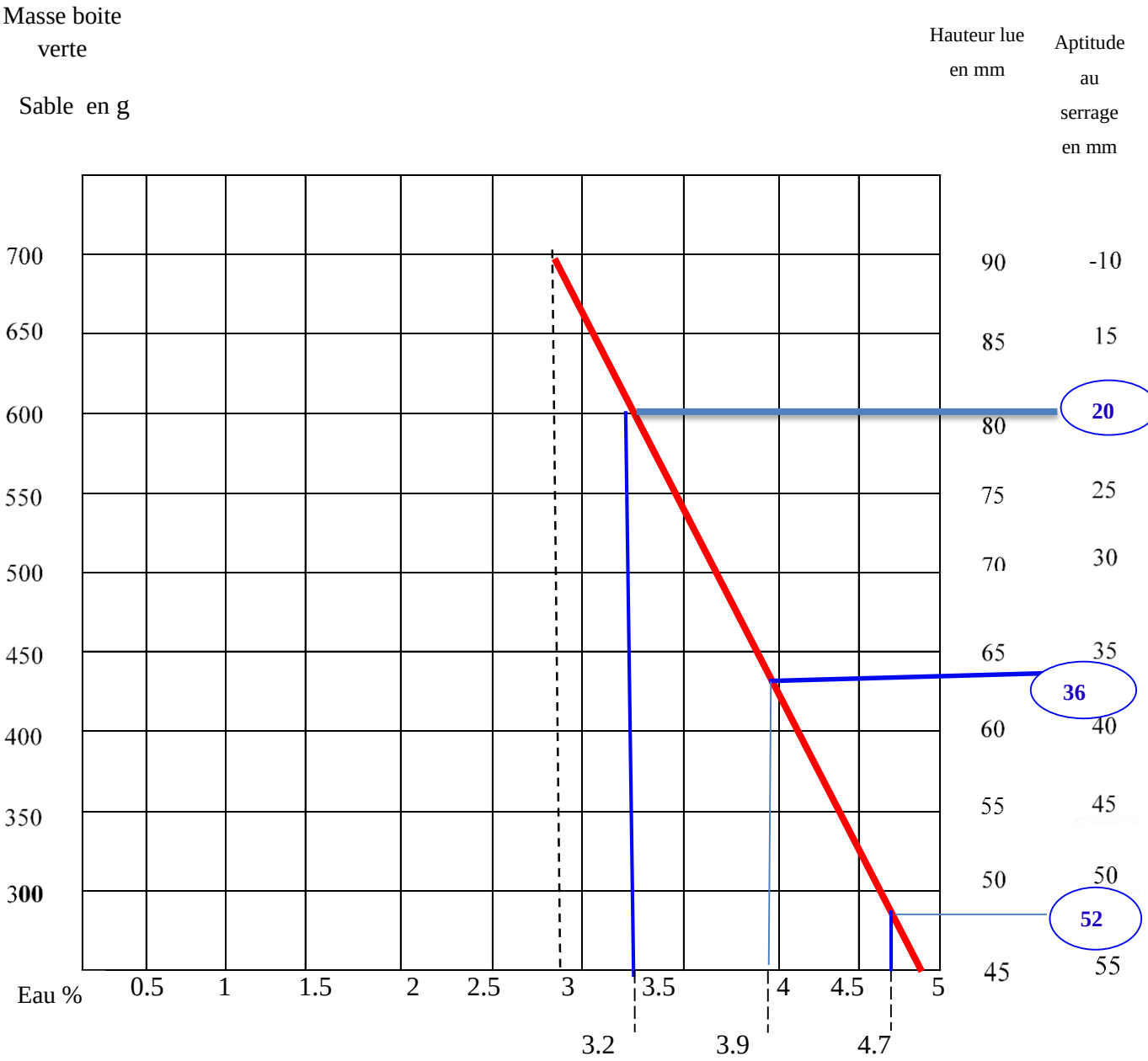


Figure 36 : Ressources aptitude au serrage

03 essais effectués :

	Aptitude au serrage	Taux d'humidités (%)	Remarque
Essai 1	20	3.2	Manque d'eau
Essai 2	52	4.7	Excès d'eau
Essai 3	36	3.9	Dans la norme

Les deux essais 1 et 2 sont non conformes.

Pour l'essai 2 où le sable est trop humide, il ya risque d'apparition des défauts :

- Pour la fabrication du moule.

  Fausse serre, serrage insuffisant, collage.

- lors de la coulée.

  Risque de refoulement du métal, d'éclaboussures.

- pour les pièces.

  Défauts dû à un excès de gaz : piqures, soufflures, malvenue, aspect.

L'essai 3 est conforme selon la norme préconisé.

Conclusion

Conclusion

La compressibilité est parmi les points clefs pour détecter et identifier plus facilement les paramètres liés au sable pouvant générer des défauts sur pièces en cas de dérive du processus de moulage en sable silico-argileux,

La compressibilité (aptitude au serrage) doit se faire en fonction du taux de l'humidité du sable utilisé. Pour lutter contre la majorité des défauts de fonderie sur pièces, le taux de l'humidité dans le sable doit être dans l'ordre de 3.9%. Un excès d'humidité provoque ……

On a tout d'abord analysé les paramètres physico-chimiques du sable et contrôlé les caractéristiques mécaniques sur des éprouvettes normalisées. Afin d'être représentatifs, les contrôles et les analyses sont effectués sur des échantillons de sable prélevés de chantier de moulage. Ensuite, il y a lieu de suivre l'évolution de chaque paramètre mesuré (taux d'humidité en fonction de l'aptitude au serrage) et vérifier les tendances par rapport aux limites minimale et maximale déterminées par expérience ou par rapport aux règles de base du moulage (abaque développé récemment qui montre une corrélation entre le taux d'humidité et propriété d'aptitude au serrage de sable de moulage).

Puis, il est important d'analyser et suivre les caractéristiques du « sable de retour » pour comprendre ses évolutions en fonction des types de pièces produites, des alliages et des tonnages coulés et des méthodes appliquées. Enfin, il est nécessaire de contrôler régulièrement la qualité des matières utilisées (en fonction des livraisons de sable neuf, d'argile, d'additif carboné, …)

BIBLIOGRAPHIE

[1]: (http : www.modelage-industriel-lesage.com)

[2]:(https://fr.unionpedia.org).

[3]:(www .fonderie-vincent.com)

[4]: (techniques – ingénieur article de Réf /M3659 Auteur(s) : jean-Marie BRIARD ,date de publication 10 sept 2003).

[5]:(article moulage-noyautage M3512 auteur pierre CUENIN 10 avril 1994)

[6]:(pour les matériaux de moulage cf. article [M 3 575])

[7]: (Sables autodurcissants, récupération associés au grenaillage Fonderie Octobre 1980 ; Fonderie, Fondeur d'aujourd'hui n°11, janvier 1982).

[8]:(les matériaux de moulage : principe et rôle d'une sablerie (www.fonderie-ardennes.fr)

[9]:(selon description technique du chantier de automatique moulage BA 3553/00-00-01-20-01-00-fr):

[10]:(Classeur de fonderie BERROUGHIA Selon la norme TGL 14317 page 14)

[11]:(Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°423).

[12]:(Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°401).

[13]:(Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°424.)

[14]:(Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°423.)

[15]:Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°431.)

[16]:Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°432.)

[17]:Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°433.)

[18]:Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°434.)

[19] :Selon les prescriptions de la recommandation technique du B.NIF n°436.